



Ясманов Николай Александрович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник музея землеведения МГУ, заведующий кафедрой экологии и природопользования Международного университета природы, общества и человека «Дубна», член-корреспондент РАН, действительный член Международной академии информатизации. Ведущий специалист в области геоэкологии и исторической геологии. Имеет около 450 научных публикаций.

ISBN 5-7695-1043-0



9 785769 510434

ОСНОВЫ ГЕОЭКОЛОГИИ

Н. А. Ясманов
**ОСНОВЫ
ГЕОЭКОЛОГИИ**

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Н. А. ЯСАМАНОВ

ОСНОВЫ ГЕОЭКОЛОГИИ

*Допущено
Учебно-методическим объединением по классическому
университетскому образованию в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений, обучающихся
по экологическим специальностям*

Москва

АКАДЕМ
2003

УДК 574.91 + 574.55

ББК 260я73

Я80

Рецензенты:

д-р геолого-минералог. наук, проф. *А. Г. Рябухин*
(Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова);
канд. геогр. наук *В. Т. Дмитриева* (зав. кафедрой физической географии
и геоэкологии Московского городского педагогического университета)

Ясаманов Н. А.

Я80 Основы геоэкологии: Учеб. пособие для эколог. специальностей вузов / Николай Александрович Ясаманов. — М.: Издательский центр «Академия», 2003. — 352 с.

ISBN 5-7695-1043-9

В книге изложены основы геоэкологических знаний, показано значение междисциплинарного научного направления, изучающего взаимосвязанные и взаимозависимые геосферы в тесной интеграции их с социальной сферой. Освещены природные и социально-экономические последствия изменения геосфер под влиянием антропогенного фактора. С геоэкологических позиций оценены современное состояние и устойчивость биосферы.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по экологическим специальностям.

УДК 574.91 + 574.55

ББК 260я73

Учебное издание

Ясаманов Николай Александрович

Основы геоэкологии

Учебное пособие

Редактор *Е. И. Борисова*

Технический редактор *Н. И. Горбачева*

Компьютерная верстка: *Л. М. Беляева*

Корректоры *Н. В. Савельева, В. В. Кожуткина*

Изд. № А-458-И/1. Подписано в печать 29.04.2003. Формат 60×90/16.
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Бумага тип. № 2. Усл. печ. л. 22,0.
Тираж 20 000 экз. (1-й завод 1–6000 экз.). Заказ № 2588

Лицензия ИД № 02025 от 13.06.2000. Издательский центр «Академия».
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.002682.05.01 от 18.05.2001.
117342, Москва, ул. Бутлерова, 17-Б, к. 223. Тел./факс: (095)330-1092, 334-8337.

Отпечатано с готовых диапозитивов в ГУП «Облтип. «Печатный двор»
432049, г. Ульяновск, ул. Пушкарева, 27

ISBN 5-7695-1043-9

© Ясаманов Н. А., 2003

© Издательский центр «Академия», 2003

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одна из важнейших проблем, стоящих перед мировым сообществом, — защита окружающей природной среды и сохранение устойчивого развития человеческой цивилизации. Катастрофически быстрое увеличение численности населения Земли, неуклонный рост его материальных и духовных потребностей, расширение областей использования природных ресурсов, внедрение новых и новейших технологий, увеличение производства в энергетике, промышленности, сельском хозяйстве, строительстве, на транспорте происходят с глубоким преобразованием природных ландшафтов. Такие преобразования ведут к возникновению новых, ранее неизвестных биосфере искусственных ландшафтов. Современный научно-технический прогресс и расширение межгосударственных хозяйственных связей привели к резко возросшей нагрузке на окружающую среду и усилили противоречия во взаимодействии между средой и человеческим обществом.

Глобальный масштаб использования природных ресурсов и развития трудовых процессов, обуславливающий накопление материальных благ в обществе, носит широкоаспектный и многовариантный характер. Этот масштаб можно свести в экологическом смысле к четырем основным направлениям:

— формирование региональных и глобальных природно-техногенных экосистем;

— возникновение локальных, региональных и глобальных экологических катастроф;

— резкое сокращение и исчерпание ресурсов природного сырья; возникновение экологического иммунодефицита планеты в результате глобального антропогенного пресса на природную среду, ормозение и подавление естественных механизмов саморегулирования биосферы.

С момента возникновения человеческой цивилизации происходит непрерывное взаимодействие человека с природной средой. Ростом численности населения Земли усиливается экологический пресс на природу. Это вызвано многократно увеличивающейся технической вооруженностью, использованием огромных энергетических возможностей созданных человеком производств и че-

ных систем, широчайшим спектром технологических факторов, которые в своей совокупности со всех сторон воздействуют на земные оболочки — атмосферу, гидросферу, литосферу и биосферу. Типичные черты современного развития цивилизации, прямо или косвенно воздействующие на геосферы и усиливающие скорость протекания природных процессов, приводят к весьма существенному видоизменению природной среды.

Антропогенный фактор изменения природных объектов и геосфер необходимо учитывать при их общей характеристике. Поэтому при геоэкологической характеристике отдельных геосфер большое значение придается антропогенным воздействиям. В учебном пособии раскрываются весьма сложные взаимодействия между геосферами Земли на разных иерархических уровнях — от планетарного до локального, на которые неуклонно увеличивается антропогенное давление. Важно учитывать не только эти межгеосферные связи, но и воздействия современной человеческой цивилизации на их отдельные компоненты. Обобщенные результаты могут быть получены лишь на междисциплинарном направлении, которое объединила геоэкологию и экологическую геологию.

Вопросами экологии с учетом важности экологической проблематики и высокой степени воздействия человеческой деятельности на широкий спектр природных процессов занимаются специалисты практически всех профессий — от геологов, географов, биологов, физиков, химиков до инженеров, технологов, юристов, социологов, политиков и т. д. В зависимости от отдельных геосфер, объектов исследования и отраслей производства выделяют отдельные дисциплины экологии, которые преподают в технических и гуманитарных высших учебных заведениях. Кроме собственной экологии, имеющей четко выраженную биологическую направленность, а таковой являются молекулярная, видовая и системная экологии, известны экологическое почвоведение, геоэкология, экологическая геология, экологическая геофизика, промышленная или инженерная экология, радиационная экология, космическая экология, экология специальных объектов, социальная экология, экологическое право и т. д.

Пособие может быть полезно студентам университетов и педагогических вузов, которые обучаются на географическом, геоэкологическом, геологическом, биологическом, почвенном факультетах, а также студентам, изучающим геоэкологию и обучающимся на физическом, химическом, юридическом, экономическом, историческом, социологическом и других факультетах, но только после предварительного ознакомления с основами геологии и географии. Книга может быть интересна и широкому кругу читателей, которым небезразличны глобальные вопросы геоэкологии, экологической геологии и природопользования.

Проблема взаимодействия человека с окружающей средой своими корнями уходит в далекое прошлое, в каменный век. В палеолите первобытные люди в качестве орудий труда использовали каменные топоры и скребки, которые изготавливали из определенных сортов кремня. Они строили жилища и широко пользовались огнем, причем не только для обогрева жилища, приготовления пищи и защиты от диких животных, но и в качестве одного из основных средств охоты. Поисками мест локализации и добычей подходящего сырья для изготовления орудий труда и охоты ограничивалось воздействие первобытных людей на литосферу. Вместе с тем они устраивали целенаправленные поджоги лесных массивов, при этом возникали масштабные лесные пожары, происходили локальные экологические катастрофы. Со временем проблемы взаимодействия человека с окружающей средой обострились. Но еще должны были пройти многие тысячелетия, чтобы антропогенное воздействие на среду обитания стало таким же сильным, как и природное. Долгое время природные катастрофы и геологические процессы, возникающие независимо от человека, оставались господствующими, и люди должны были к ним приспосабливаться.

Известно, что природные факторы действуют с момента рождения нашей планеты. Их результат проявлялся не только в медленно изменяющихся физико-географических обстановках, но и в региональных и глобальных природных катастрофах. К быстро меняющимся параметрам среды обитания растительное и животное царство не в состоянии были приспособиться. Наступали эпохи массовых вымираний. Причем эти вымирания охватывали не только отдельные сообщества, виды и роды, но и целые семейства. Рубежи крупнейших массовых вымираний были использованы в геологии в качестве главных реперов периодизации геологических событий и геохронологических границ. Таковыми являются границы между эрами (эратемами), периодами (системами), эпохами (отделами) и веками (ярусами) единой геохронологической шкалы.

Вся геологическая история нашей планеты — это бесконечная смена физико-географических условий, различных по масштабам

и времени происхождения катастроф, чередой объединения и разъединения материков и микроконтинентов, рождения и исчезновения океанов, окраинных и эпиконтинентальных морей, трансгрессий и регрессий, возникновения и размыва горных хребтов и массивов, появления, расселения и вымирания организмов, а следовательно, непрерывная во времени смена экологических условий. Их реконструкцией и анализом развития занимается специальное геологическое направление — *историческая геоэкология*.

После появления человека масштабность геологических процессов оставалась в тех же параметрах, что и в геологическом прошлом. Но к существующим геологическим факторам человек вынужден был приспособиться, обладая не только огромными возможностями биологической приспособляемости, но и полной свободой для миграции и выбора оптимального места обитания. Человек постепенно расселился по всей планете, за исключением ее полярных областей и высокогорий. И это было самым уникальным явлением среди органического мира, так как ареал расселения ни одного живого существа не мог сравниться с глобальным расселением человека.

Со временем произошла концентрация людей в городских поселениях и возникли городские агломерации. Но от этого взаимодействие человека со средой обитания не только не снизилось, но еще более возросло, так как все необходимое для своей жизнедеятельности, в том числе и материальные блага, человек получал от природы. В конце первобытно-общинного и во время рабовладельческого строя стали появляться первые симптомы экологических кризисов и среди них — опустынивание Северной Африки, продолжительные засухи в междуречье Тигра и Евфрата, где располагались первые земледельческие цивилизации. Философы Древней Греции и Китая призывали жить в полном согласии с природой, не нарушать природных законов и указывали на необходимость выработки основных экологических принципов. Но гармоничная жизнь того периода нередко нарушалась катастрофическими процессами как природного характера (землетрясения, извержения вулканов, наводнения, цунами и т. д.), так и спровоцированными хозяйственной деятельностью людей (наводнения и опустынивание из-за интенсивной ирригации и мелиорации, возникновение снежных лавин, ускорение гравитационных процессов).

Природные, или экологические, условия жизни менялись и под прямым воздействием человека, например войны как между отдельными племенами, так и крупнейшие завоевательные войны древности, и среди них в первую очередь надо отметить завоевания Александра Македонского. Подобные войны не только несли опустошения вследствие боевых действий, но и целенаправленно ухудшали среду обитания противника. Специально устраивались наводнения, менялись направления рек, создавались благопри-

ятные обстановки для развития снежных лавин, обвалов и осыпей т. д.

Большой вред окружающей среде наносили непреднамеренные действия людей. Еще около 5 тысяч лет назад в результате деятельности скотоводческих племен возникла пустыня Сахара. Незадолго до этого в Северной Африке располагались саванны и отдельные лесные массивы, текли реки и находились озера. Об этом свидетельствует культура Тассили Аджер. В центре современной пустыни Сахары, в Алжире, офицером французских колониальных войск была обнаружена наскальная живопись. Древний художник изобразил жанровые сценки из жизни племени, а также нарисовал животных, которые обитали только на берегах рек и в широких поймах полноводных рек. В процессе археологических раскопок были найдены рыболовные крючки и снасти, большое количество рыбьих костей, предметы утвари. Все это свидетельствовало о том, что племена обитали вблизи озер и полноводных рек и кроме охоты занимались рыбной ловлей. Эти территории, ныне практически совершенно лишены воды и растительности, в то далекое время не только были обитаемы, но и имели совершенно другие ландшафты, которые могли быть изменены действием скотоводческих племен, пришедших на смену охотничьим и собирательским племенам.

Скотоводческие племена выжигали саванные рощи и леса, а скот вытаптывал оголенные пространства. Периодически кочуя и осваивая новые участки, племена оголили огромные территории. Все это привело к тому, что ландшафты Северной Африки, располагавшиеся в области господства переменного влажного климата и находившиеся в динамическом равновесии с существующими климатическими условиями, усилиями первобытных людей были изменены. Оголение обширных пространств привело к тому, что уровень грунтовых вод резко понизился, усилилась засушливость и стремительно стали развиваться процессы опустынивания.

К такому же результату привела антропогенная деятельность и на других территориях: возникновение пустыни Калахари и опустынивание местности в Месопотамии. Активизация эоловых процессов, спровоцированных антропогенной деятельностью, вызвало погребение песками многих городов, поселений и оазисов Средней и Передней Азии.

В средневековые экологические кризисы не приобрели глобального характера. Слишком слабым было воздействие человека на природную среду. Нарушенные им ландшафты успевали вновь возродиться. Только с началом эпохи техногенеза, т. е. с конца XVII и начала XVIII в., воздействие человеческой деятельности на среду обитания становится всеобщим. С этого времени начинается разработка экологической проблематики учеными различных направлений, возникает экологическая наука, в практику антропо-

тенной деятельности внедряются основные принципы и положения экологии.

На протяжении XX в. исследования экологической направленности стали широко проводиться в различных отраслях геологической, географической и почвоведческой наук. Появились новые термины: «окружающая среда», «геологическая среда», «экология географической оболочки», «геоэкология», «экогеология», «экогеография». Это было время целенаправленных исследований экологического характера и сознательного поиска терминов для новой отрасли знаний о взаимодействии геосфер Земли и антропогенном влиянии на среду обитания человека.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКИ

Впервые термин «экология» был употреблен в 1866 г. в работе немецкого биолога Э. Геккеля «Всеобщая морфология организмов». Самобытный биолог-эволюционист, медик, ботаник, зоолог-морфолог, сторонник и пропагандист учения Ч. Дарвина, он не только ввел в научный обиход новый термин, но и приложил все свои силы и знания для формирования нового научного направления. Ученый считал, что «экология — это наука об отношениях организмов к окружающей среде». Выступая на открытии философского факультета университета в Йене с лекцией «Путь развития и задачи зоологии» в 1869 г. Э. Геккель отмечал, что экология «исследует общее отношение животных как к их органической, так и неорганической средам, их дружественные и враждебные отношения к другим животным и растениям, с которыми они вступают в прямые и не прямые контакты, или, одним словом, все те запутанные взаимодействия, которые Ч. Дарвин условно обозначил как борьбу за существование». Под средой он понимал условия, создаваемые неорганической и органической природой. К неорганическим условиям Геккель относил физические и химические особенности мест обитания живых организмов: климат (температура, влажность, освещенность), состав воды и почвы, особенности атмосферы, а также неорганическую пищу (минералы и химические соединения). Под органическими условиями ученый подразумевал взаимоотношения между организмами, существующими в пределах одного сообщества или экологической ниши. Название экологической науки произошло от двух греческих слов: «экос» — дом, жилище, местообитание и «логос» — слово, учение.

Надо отметить, что Э. Геккель и многие его последователи использовали термин «экология» не для описания изменяющихся условий среды и меняющихся со временем взаимоотношений между организмами и средой, а только для фиксации существующих неизменными условий и явлений окружающей среды. Как полагают С. В. Клубов и Л. Л. Прозоров (1993), фактически исследовался физиологический механизм взаимоотношения живых организмов, выделялось их отношение к окружающей среде исключительно в рамках физиологических реакций.

В рамках биологической науки экология просуществовала до середины XX в. Акцент в ней был сделан на изучение живого вещества, закономерностей его функционирования в зависимости от факторов среды обитания.

В современную эпоху экологическая парадигма основывается на концепции экосистем. Как известно, этот термин был введен в науку А. Тенсли в 1935 г. Под *экосистемой* подразумевают функциональное единство, образованное биотопом, т. е. совокупностью абиотических условий, и населяющими его организмами. Экосистема является главным объектом изучения *общей экологии*. Предметом познания ее являются не только законы формирования структуры, функционирования, развития и гибели экосистем, но и состояние целостности систем, в частности их устойчивость, продуктивность, круговорот веществ и баланс энергии.

Таким образом, в рамках биологической науки общая экология оформилась и окончательно выделилась как самостоятельная наука, которая основывается на изучении свойств целого, не сводимого к простой сумме свойств его частей. Следовательно, экология в биологическом содержании этого термина подразумевает науку об отношениях растительных и животных организмов и образуемых ими сообществ между собой и с окружающей средой. Объектами биоэкологии могут быть гены, клетки, отдельные особи, популяции организмов, виды, сообщества, экосистемы и биосфера в целом.

Сформулированные законы общей экологии широко используются в так называемых частных экологиях. Точно так же, как и в биологии, развиваются своеобразные таксономические направления в общей экологии. Самостоятельно существуют экология животных и растений, экология отдельных представителей растительного и животного мира (водорослей, диатомовых водорослей, определенных родов водорослей), экология обитателей Мирового океана, экология сообществ отдельных морей и водоемов, экология определенных участков водоемов, экология животных и растений суши, экология пресноводных сообществ отдельных рек и водоемов (озер и водохранилищ), экология обитателей гор и возвышенностей, экология сообществ отдельных ландшафтных единиц и т. д.

В зависимости от уровня организации живого вещества экосистем в целом выделяют экологию особей (аутоэкологию), экологию популяций (демэкологию), экологию ассоциаций, экологию биоценозов и экологию сообществ (синэкологию).

При рассмотрении уровней организации живого вещества многие ученые полагают, что самые низшие ее ранги — геном, клетка, ткань, орган — изучаются сугубо биологическими науками — молекулярной генетикой, цитологией, гистологией, физиологией, а высшие ранги — организм (особь), вид, популяция, ассоциа-

ция и биоценоз — как биологией и физиологией, так и экологией. Только в одном случае рассматриваются морфология и систематика отдельных особей и составляемых ими сообществ, а в другом — их взаимоотношение между собой и с окружающей средой.

К настоящему времени экологическое направление охватило практически все существующие области научного познания. Не только науки естественного профиля, но и сугубо гуманитарные науки при изучении своих объектов стали широко пользоваться экологической терминологией и в основном методами исследования. Возникло множество «экологий» (экологическая геохимия, экологическая геофизика, экологическое почвоведение, геоэкология, экологическая геология, физическая и радиационная экология, медицинская экология и множество других). В связи с этим была проведена определенная структуризация. Так, в своих работах (1990—1994) Н. Ф. Реймерс сделал попытку представить структуру современной экологии (рис. 1.1).

Более простой выглядит структура экологической науки с иных методологических позиций (рис. 1.2). В основу структуризации положено разделение экологии на четыре крупнейших и одновременно фундаментальных направления: биоэкологию, экологию человека, геоэкологию и прикладную экологию. Все перечисленные направления пользуются практически одинаковыми методами и методологическими основами единой экологической науки. В данном случае речь может идти об *аналитической экологии* с соответствующими подразделениями ее на физическую, химическую, геологическую, географическую, геохимическую, радиационную и математическую, или системную, экологию.

В рамках биоэкологии выделяют два равноценных и важнейших направления: *эндоэкологию* и *экзоэкологию*. Согласно Н. Ф. Реймерсу (1990), к эндоэкологии относятся генетическая, молекулярная, морфологическая и физиологическая экологии. К экзоэкологии относятся следующие направления: аутоэкология, или экология отдельных особей и организмов как представителей определенного вида; демэкология, или экология отдельных группировок; популяционная экология, которая изучает поведение и взаимоотношение в пределах какой-то определенной популяции (экология отдельных видов); синэкология, или экология органических сообществ; экология биоценозов, рассматривающая взаимоотношение сообществ или популяций организмов, составляющих биоценоз между собой и с окружающей средой. Наиболее высшим рангом экзоэкологического направления являются учение об экосистемах, учение о биосфере и глобальная экология. Последняя охватывает все области существования живых организмов — от почвенного покрова до тропосферы включительно.

Самостоятельным направлением экологического исследования является экология человека. В действительности, если строго при-

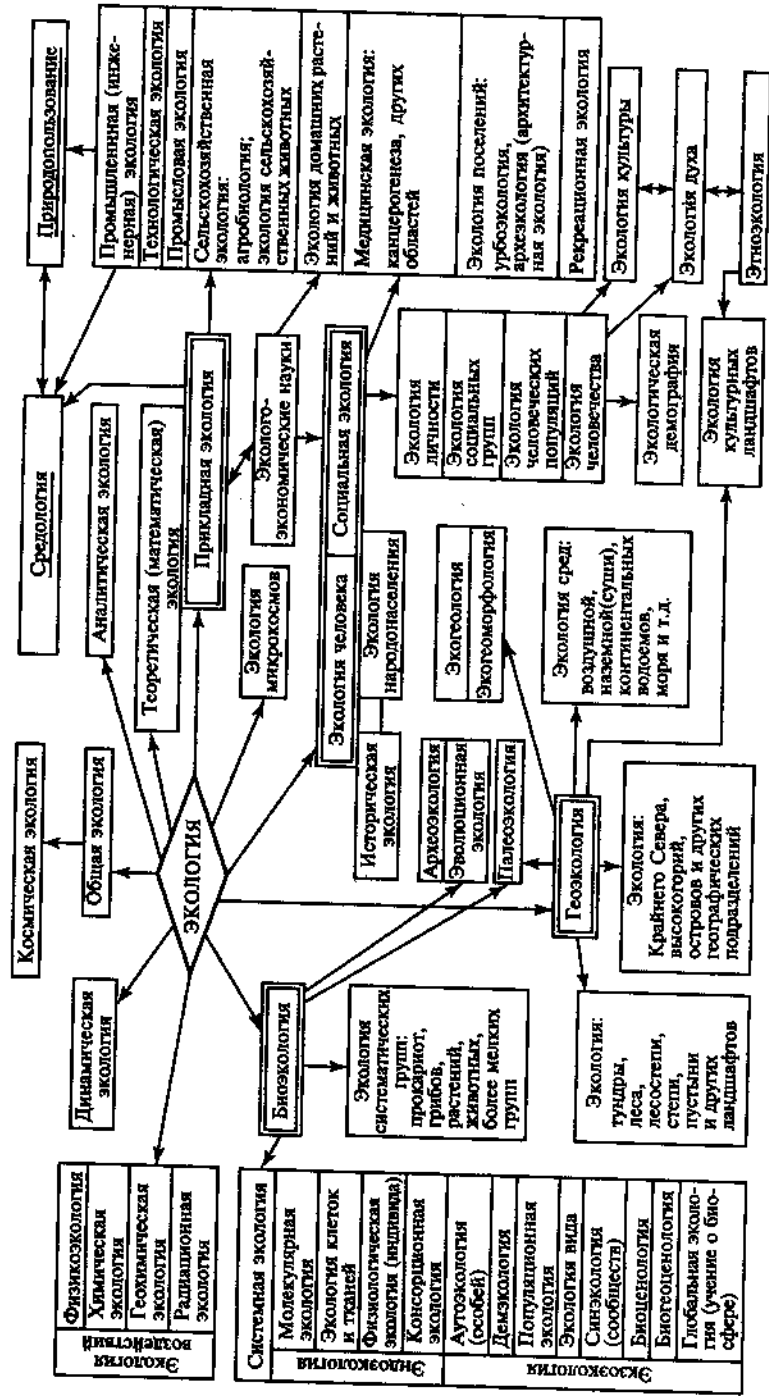


Рис. 1.1. Структура современной экологии (по Н. Ф. Реймерсу)

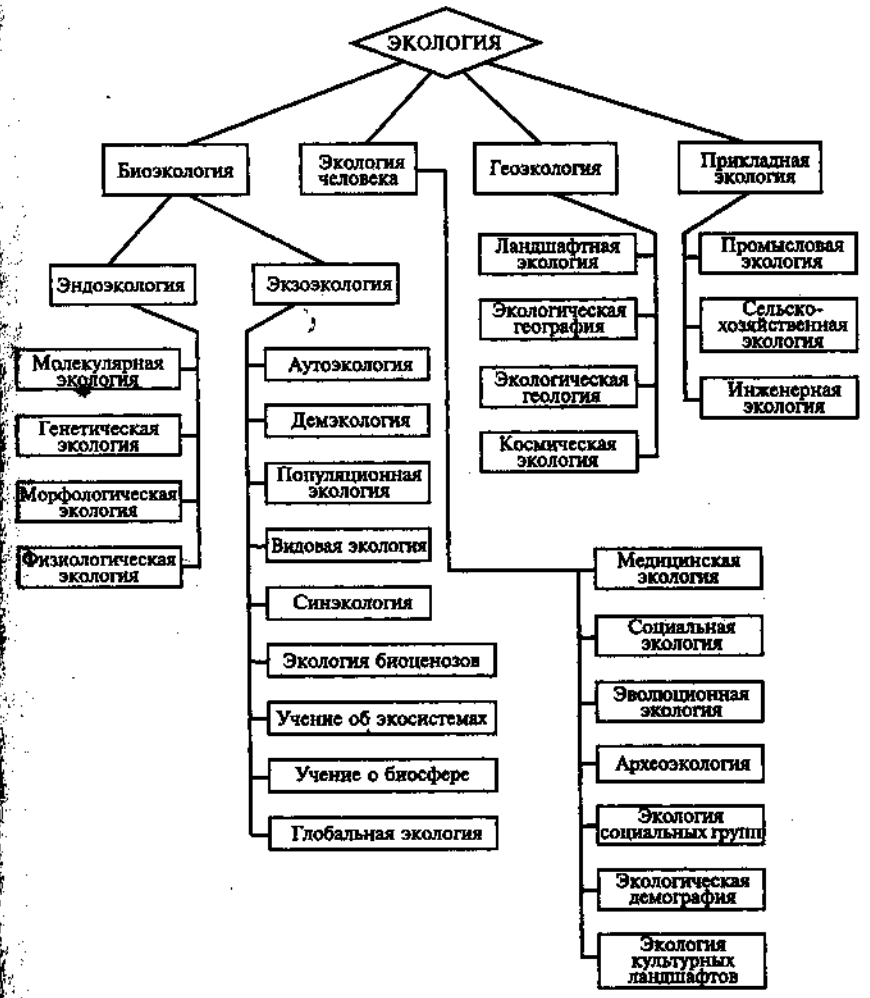


Рис. 1.2. Структура экологической науки

держиваться правил иерархии, данное направление должно входить составной частью в биоэкологию, в частности как аналог аутоэкологии в рамках экологии животных. Однако, учитывая ту огромную роль, которую играет человечество в жизни современной биосферы, это направление выделяют в качестве самостоятельного. В экологии человека целесообразно выделить эволюционную экологию человека, археоэкологию, рассматривающую взаимоотношение человека со средой обитания начиная со времени первобытного общества, экологию этносоциальных групп, социальную экологию, экологическую демографию, экологию культурных ландшафтов и медицинскую экологию.

В середине XX в. в связи с проводившимися глубокими исследованиями среды обитания человека и органического мира возникли научные направления экологической направленности, тесно связанные с географическими и геологическими науками. Их цель — изучить не сами организмы, а только их реакцию на изменяющиеся условия среды обитания и проследить обратное воздействие деятельности человеческого общества и биосферы на среду обитания. Эти исследования были объединены в рамках геоэкологии, которой придано сугубо географическое направление. Однако представляется целесообразным в пределах как геологической, так и географической экологии выделить по крайней мере четыре самостоятельных направления — ландшафтную экологию, экологическую географию, экологическую геологию и космическую (планетарную) экологию. При этом надо особо подчеркнуть, что не все ученые согласны с таким разделением.

В рамках прикладной экологии, как следует из ее названия, рассматриваются многоаспектные вопросы экологии, связанные с сугубо практическими задачами. В ее составе выделяют промышленную экологию, т.е. экологические исследования, связанные с добычей определенных биоресурсов (ценных пород зверей или древесины), сельскохозяйственную экологию и инженерную экологию. Последняя отрасль экологии имеет много аспектов. Объектами изучения инженерной экологии являются состояние урбанизированных систем, агломераций городов и поселков, культурных ландшафтов, технологических систем, экологическое состояние мегаполисов, наукоградов и отдельных городов.

Концепция системной экологии возникла в ходе интенсивного развития экспериментальных и теоретических исследований в области экологии в 20-е и 30-е годы XX в. Эти исследования показали необходимость комплексного подхода к изучению биоценоза и биотопа. Впервые необходимость такого подхода была сформулирована английским геоботаником А. Тенсли (1935), который ввел в экологию термин «экосистема». Главное значение экосистемного подхода для экологической теории заключается в обязательном наличии взаимоотношений, взаимозависимости и причинно-следственных связей, т.е. объединение отдельных компонентов в функциональное целое.

Определенная логическая завершенность концепции экосистем выражается количественным уровнем их изучения. Выдающаяся роль в изучении экосистем принадлежит австрийскому биологу-теоретику Л. Бергаланфи (1901—1972). Он разработал общую теорию, позволяющую с помощью математического аппарата описывать системы различных типов. Основой концепции экосистемы является аксиома системной целостности.

При всей полноте и глубине охвата в классификационной рубрикации экологических исследований, включающей все современ-

ные аспекты жизни человеческого общества, отсутствует такое важное звено познания, как историческая экология. Ведь при изучении современного состояния экологической обстановки исследователю для определения закономерностей развития и прогноза экологических условий в глобальном или региональном масштабе необходимо сравнивать существующие экологические ситуации с состоянием среды исторического и геологического прошлого. Эти сведения сосредоточены в исторической экологии, которая в рамках экологической геологии дает возможность с помощью геологических и палеогеографических методов определить физико-географические обстановки геологического и исторического прошлого и проследить их развитие и изменение вплоть до современной эпохи.

Начиная с исследований Э.Геккеля термины «экология» и «экологическая наука» широко вошли в обиход научных исследований. Во второй половине XX в. экология разделилась на два направления: сугубо биологическое (общая и системная экология) и геолого-географическое (геоэкология и экологическая геология).

Контрольные вопросы

1. Кто и когда ввел в науку термин «экология»?
2. На какие основные части разделяется современная экология?
3. Какие самостоятельные разделы существуют в рамках экологии?

Литература

- Белозерский Г. Н., Вугаинский В. С. и др. Основы геоэкологии. — СПб., 1994.
- Голубев Г. Н. Геоэкология. — М., 1999.
- Горшков С. П. Концептуальные основы геоэкологии. — Смоленск, 1998.
- Теория и методология экологической геологии / Под ред. В. Т. Трофимова. — М., 1997.
- Клубов С. В., Прозоров Л. Л. Геоэкология: история, понятия, современное состояние. — М., 1993.
- Петров К. М. Геоэкология. — СПб., 1994.
- Реймерс Н. Ф. Природопользование. — М., 1990.

ГЛАВА 2
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА В НАУКАХ
О ЗЕМЛЕ

В настоящее время общее количество публикаций, в которых затронута экологическая проблематика, составляет десятки тысяч. Особенно сильно увеличилось число публикаций в последние десятилетия. Это обстоятельство очень затрудняет проведение их подробного исторического анализа, тем более что достаточно полная характеристика практически всех изданных работ приводится в коллективной монографии «Теория и методология экологической географии», вышедшей под редакцией В. Т. Трофимова (1997), а также в учебниках и учебных пособиях С. П. Горшкова (1998), М. К. Бахтеева (1997), Г. Н. Голубева (1999) и др. Исходя из этого, кратко рассмотрим особенности экологической проблемы в науках о Земле. Такое рассмотрение представляется необходимым, поскольку геоэкология и экологическая география по своей сути являются междисциплинарными науками.

Экологическая проблема в биологических науках. В настоящее время проводятся глубокие теоретические и практические исследования в области биоэкологии. Изучение экологии организмов, сообществ или биоты сугубо биологическими науками, как признают сами биологи, слишком односторонняя проблема и ее нельзя рассматривать в отрыве от других естественных наук и прежде всего от географии. Ведь весьма важную информацию о взаимоотношениях организмов и среды дает сравнительный анализ при рассмотрении жизнедеятельности организмов в географическом аспекте, в частности в рамках биогеографии. Несмотря на такую очевидность, в школе российских экологов утвердилась точка зрения, что сферу экологии следует ограничивать биоценотическим уровнем организации жизни. В противном случае, по мнению В. Д. Федорова и Т. Г. Гильманова (1980), экология из строгой научной дисциплины об экосистемах превращается в биологию окружающей среды, охватывающую все стороны жизни и развития биосферы.

Тем не менее ряд ведущих экологов не согласны с таким подходом, например Н. Ф. Реймерс (1994). Предложенная им иная структуризация современной экологии заключается в отделении биоэкологии от экологии человека и выделении в качестве самостоятельных направлений геоэкологии и прикладной экологии.

В сферу биоэкологии ученые-экологи включают все известные уровни организации жизни — от генов до биосферы и в соответствии с этим выделяют молекулярную биологию, экологию клеток, биогеоценологию, глобальную экологию, или учение о биосфере. Наряду с этим в биологии развиваются экологии отдельных систематических групп. Н. Ф. Реймерс обособляет: экологию среды (воздушной, наземной, морской); экологию природных ландшафтов (Крайнего Севера, высокогорий и т.д.) и экологию культурных ландшафтов. Экология человека и социальная экология, по мнению Реймерса, объединяют медицинскую экологию и экологию поселений, а также экологию личности, экологию социальных групп, экологию человеческих популяций и экологию человечества. Крупные российские ученые академики В. П. Казначеев и А. Я. Яншин (1986) считают необходимым преобразовать научное направление об экологии человека в самостоятельную науку, изучающую закономерности взаимодействия человека с окружающей средой, рассматривающую проблемы народонаселения, сохранения здоровья, совершенствования физических, физиологических и психических возможностей человека. Подробнее экологическая проблема в сфере биологических и медицинских наук рассматривается в соответствующих учебниках, монографиях и учебных пособиях.

Экологическая проблема в географии. В географических науках существует несколько отличающихся друг от друга подходов к рассмотрению экологических проблем. Ряд ученых (А. И. Базилевич, А. Г. Воронин, Д. А. Кривоуцкий, Е. Т. Мяло и некоторые другие) развивают в рамках биогеографии традиционную биоэкологию, которую они иногда называют географией природных экосистем. Данное направление занимается выяснением географических закономерностей организации экосистем и классификацией структурных единиц биосферы. В пределах этого направления изучаются экосистемы, имеющие зональные ареалы, оцениваются функции групп организмов, образующих экосистемы, рассматривается роль экосистемы разного таксономического уровня и пространственного распределения в некоторых глобальных процессах и среди них поддержание баланса кислорода и углекислого газа в атмосфере, биологическое воздействие на процессы выветривания и т.д. Таким образом, ученые, работающие в этом направлении, делают акцент на изучение экосистем и за основу своих исследований берут биологическое направление.

Крупные российские географы И. П. Герасимов, В. С. Преображенский, Т. Д. Александрова считают необходимым изучать экосистемы с экологических позиций. Цель такого изучения — выявление и исследование связей, существующих между изучаемым с той или иной стороны объектом и окружающей средой. Так, экологический подход в изучении природных систем следует сочетать

с географическим. Последний предполагает при исследовании связей внутри геосистем считать их равнозначными. Таким образом, рассматриваются только те связи, которые направлены на глубинные связи системы. При этом опускается взаимосвязь важнейших составляющих геосистем — воздуха, воды; за пределами внимания остаются процессы, происходящие в тех частях литосферы, атмосферы и гидросферы, которые непосредственно не связаны с биотой, хотя в конечном итоге они оказывают большое влияние на изменение окружающей среды.

В последние годы рядом авторов был предложен геоэкологический подход в исследовании географических объектов. На этом основании большинство географов вовлекли в свои исследования не только биоту, но и человека. Они стали рассматривать человека в качестве субъекта среды или объекта, вокруг которого существует среда. По мнению одних исследователей, новая наука может называться наукой об окружающей среде, других — геоэкологией.

Советский географ В. Б. Сочава, выступая в 1970 г. на съезде Географического общества СССР, отождествил географию, которая пользуется экологическими оценками, с наукой об окружающей среде. Он считал, что человек и среда в равной степени являются объектом изучения географии, поскольку последняя рассматривает территорию с позиций отношения к ней человека. При этом ученый особо подчеркивал, что биологические и медицинские аспекты не затрагиваются геоэкологией, так как являются предметом биоэкологии. В своей работе В. Т. Трофимов с соавторами (1997) отмечают, что, основываясь на специфике геоэкологического подхода, большинство географов пересечение своей науки с экологией связывают с формированием новой дисциплины, которая обязательно должна включать человека в сферу своих интересов. Эта наука, по мнению одних ученых, должна именоваться наукой об окружающей среде, а других — геоэкологией. В монографии рассматриваются связи между социально-экономическим развитием и нарушением окружающей среды.

Один из важнейших аспектов учения об окружающей среде — изучение потока химических элементов и веществ технического происхождения — давно и глубоко исследуется в рамках геохимии ландшафта (А. И. Перельман, М. А. Глазовская, Н. С. Касимов и др.). Этими авторами разработаны основы теории ландшафтно-геохимических барьеров, выделены ряды биохимического поглощения элементов, определена их подвижность. Все эти данные активно используются при прогнозе состояния природной среды под действием техногенеза.

В настоящее время географы трактуют содержание геоэкологии значительно шире, чем в свое время предложил основатель этого термина К. Трель в 1939 г. Они включают в объект исследования не только природные, но и антропогенные ландшафты и четко обо-

значают цель исследований, которая заключается в оптимизации природопользования.

Геоэкологию многие географы нередко рассматривают как географию природопользования, как самостоятельное направление в географии наряду с физической и социально-экономической географиями.

Несколько в ином аспекте определяет геоэкологию С. П. Горшков (1992, 1999). Он считает геоэкологию наукой о современных ландшафтах, причем как естественных, так и преобразованных человеком.

В рамках геоэкологии как науки несомненно географической направленности некоторые авторы рассматривают и медицинскую географию, актуалистическую и историческую геоэкологии и даже предлагают считать геоэкологию составной частью социальной экологии, выделяя последнюю в качестве метанауки о взаимодействии природы и общества.

Некоторыми авторами рассматривается и новое направление — инженерная экология (И. И. Мазур и О. И. Молдаванов, 2001), причем как «целостная наука со всеми свойствами комплексной научно-технической дисциплины».

Основопологающими направлениями исследований инженерной экологии являются анализ действия деградиционных процессов, количественная и качественная оценка состояния экосистем, разработка экологических шкал по видам технического воздействия, разработка способов получения экологической информации, экологическая экспертиза создаваемых машин и технологий, планирование природоохранных мероприятий и реабилитация ландшафтов и т. д. Таким образом, инженерная экология начинает приобретать черты самостоятельного научного направления, на основе которого разрабатываются терминологическая база и принципы проведения научных исследований в области географических наук.

Экологическое направление в почвоведении. Экологическая проблематика в почвоведении возникла в 20-е годы XX в. В отдельных работах почвоведы стали употреблять термины «экология почв» и «педоэкология». Однако сущность терминов, как и магистральное направление экологических исследований в почвоведении, были раскрыты только в последние десятилетия. В научную литературу Г. В. Добровольским и Е. Д. Никитиным (1990) были введены понятия «экологическое почвоведение» и «экологические функции крупных геосфер». Последнее направление авторы трактуют применительно к почвам и рассматривают как учение об экологических функциях почв. Под этим подразумеваются роль и значение почвенного покрова и почвенных процессов в возникновении, сохранении и эволюции экосистем и биосферы. Рассматривая экологическую роль и функции почв, авторы считают логичным и необ-

молимым выявить и охарактеризовать экологические функции других оболочек Земли, а также биосферы в целом. Это даст возможность рассмотреть единство среды обитания человека и всей существующей биоты, глубже понять неотделимость и незаменимость отдельных компонентов биосферы. В течение всей геологической истории Земли судьбы этих компонентов оказались сильно переплетенными. Они проникли друг в друга и взаимодействуют через круговороты вещества и энергии, что и обуславливает их развитие.

Разрабатываются и прикладные аспекты экологического почвоведения, связанные главным образом с охраной и контролем за состоянием почвенного покрова. Авторы работ подобного направления стремятся показать принципы сохранения и создания таких свойств почв, которые определяют их высокое устойчивое и качественное плодородие, не наносящее ущерба сопряженным компонентам биосферы (Г. В. Добровольский, Н. Н. Гришина, 1985).

В настоящее время в некоторых высших учебных заведениях читают специальные курсы «Экология почв» или «Экологическое почвоведение». В данном случае речь идет о науке, в которой рассматриваются закономерности функциональных связей почвы с окружающей средой. С экологических позиций изучаются почвообразовательные процессы, процессы накопления растительного вещества и гумусообразования. Однако почвы рассматриваются в качестве «центра геосистемы». Прикладное значение экологического почвоведения сводится к разработке мер по рациональному использованию земельных ресурсов.

Экологическая проблема в геологии. Впервые экологическая проблема в качестве нового научного направления, возникшего на стыке геологии и экологии, была сформулирована в 1989 г. Е. А. Козловским. Данное направление было названо им геоэкологией. Это, как оказалось, было неудачное применение термина, который и ныне широко используется в географической литературе. Применение одного и того же термина вносило определенную путаницу, и каждый раз при его употреблении требовалось подробное разъяснение, в каком смысле он употребляется: в географическом или геологическом.

Несколько ранее, в 1967 г., крупный советский геолог А. В. Сидоренко писал о том, что в жизни человека наряду с гидросферой и атмосферой важную роль играет земная кора, поверхность которой осваивает человечество. Решением проблемы, по мнению А. В. Сидоренко, должна была заняться новая научная отрасль — «техническая геология». Однако и этот новый термин для науки, рожденной на стыке геологии, техники, географии и экономики, предложенный еще в первой половине XX в. академиком В. А. Обручевым, не прижился. В геологии его все чаще стали заменять термином «геоэкология».

Функциональной единицей геоэкологии Е. А. Козловский предложил считать геоэкологическую среду. В нее он включал растительность, живые организмы, в том числе человека, косное и биокосное вещество, техногенные и хозяйственные объекты. Таким образом, в геоэкологическую среду входят взаимно влияющие друг на друга компоненты, которые необходимы для развития жизни на Земле, но в таком случае термин «геоэкологическая среда» сливается с термином «геологическая среда».

В 90-е годы XX в. для того, чтобы не возникали различные толкования одного и того же термина, геологи стали именовать экологическую тематику в геологии так же, как и новое научное направление, «экологической геологией». По мнению В. Т. Трофимова и других ведущих геологов, в состав экологической геологии должны входить все традиционные науки геологического профиля — геохимия, геофизика, гидрогеология, инженерная геология, геокриология, которые в процессе исследований рассматривают экологические аспекты геологических объектов. В этом случае экологическая геология имеет более широкое толкование, так как в название каждой из перечисленных дисциплин геологической науки нередко входит слово экология — экологическая геохимия, экологическая геофизика, экологическая гидрогеология, экологическая геокриология и т. д. В узком смысле экологическая геология — это предмет, именуемый общей или динамической геологией, но рассмотренный под экологическим углом зрения, т. е. предмет изучения тех изменений среды, которые происходят под действием различных геологических процессов, эндогенных и экзогенных.

В геологии не только рассматривается степень воздействия различных по масштабу экологических факторов на объект, но и выявляются, изучаются экологические и эколого-экономические факторы освоения минерально-сырьевых ресурсов. Объектами исследований являются экологические факторы, связанные с обустройством объекта добычи минерального сырья, особенности добычи и обогащения сырья, а также особенности, связанные со свойствами добываемого сырья, экологические проблемы, связанные с ликвидацией объекта разведки и добычи. Геоэкологическая проблематика в геологии — это междисциплинарная и общепланетарная наука, которая рассматривает закономерные изменения в литосфере, происходящие под действием эндогенных сил при взаимодействии атмосферы, гидросферы, биосферы и техносферы. Некоторые исследователи предлагают геоэкологию геологической направленности разделить на три составные части: *общая геоэкология* должна быть сосредоточена на знаниях о геоэкологических системах и геоэкологических процессах, протекающих в литосфере; *региональная геоэкология* должна обладать знаниями о пространственных закономерностях формирования геоэкологических усло-

ний на определенных крупных территориях; *специальная геоэкология* должна разрабатывать методы изучения геоэкологической обстановки и восстановления техногенных нарушенных и разрушенных участков геологической среды. Исходя из этого можно считать, что методологической основой геоэкологии геологической направленности является системный или синэнергетический подход, так как геологическая среда рассматривается как компонент окружающей среды, находящийся в тесном взаимодействии с атмосферой, гидросферой, биосферой и техносферой.

Большое значение для становления и дальнейшего развития экологической геологии имели работы В. И. Осипова, Г. С. Вартамяна, В. Н. Островского и Л. А. Островского и особенно фундаментальные работы В. Т. Трофимова и Д. Г. Зилинга. По мнению В. И. Осипова (1993), объектом геоэкологии являются геосферные оболочки Земли, а предметом — все знания о них, включая изменения под влиянием природных и техногенных факторов. Г. С. Вартамян (1993) экологические аспекты геологических исследований связывает с экологической геологией и считает ее дисциплиной, которая изучает функционирование живых организмов в условиях активного воздействия на литосферу природных и техногенных процессов. Своим взаимодействием они обуславливают эволюцию верхних горизонтов литосферы, меняют не только условия жизнеобитания человека, но и всего животного и растительного мира. Возникающий при этом экологический дискомфорт Вартамян связывает с экзогенными и эндогенными геологическими процессами.

Концептуальные вопросы геоэкологии и геологической направленности подробно изложены в работе В. Н. Островского (1993). Они рассматривают геоэкологию как новое научное направление, развивающееся на стыке геологии и экологии, и при этом считают, что в таком случае термин «геоэкология» неудачен, а более точным, отражающим смысл получаемых знаний, является название «экологическая геология». В состав геологической среды авторы включают геобиосферу (фитобиосферу и педосферу суши) и литобиосферу (верхнюю часть литосферы, где протекает жизнедеятельность организмов). По их мнению, практическая часть экологической геологии развивается по трем взаимосвязанным направлениям: региональная геоэкология, мониторинг геологической среды и моделирование геоэкологических систем.

В фундаментальных монографиях (1994—2000), вышедших под редакцией В. Т. Трофимова, обосновываются роль, значение и соотношение между геоэкологией и экологической геологией. Причем авторы монографии обращают внимание на принципиальные различия как в статусе этих научных направлений, так и в объектах и предметах исследований.

В настоящее время наряду с геолого-экологическим картографированием проводятся специальные, основанные на экологичес-

ких методах, геохимические и геофизические исследования, осуществляются литомониторинг и геолого-экологические исследования в городах и городских агломерациях.

Экологическая проблема широко представлена в экологической геохимии, в которой наряду с традиционной геохимией экологические особенности рассматриваются в таких специальных разделах, как геохимия окружающей среды, геохимия ландшафта, геохимия техногенеза, инженерная геохимия, и в новом научном направлении, которое возникло на стыке биогеохимии и экологии и которое иногда именуют геохимической экологией.

В рамках гидрогеологии развивается экологическая гидрогеология, изучающая с экологических позиций значение подземных вод в сохранении и развитии биосферы. Некоторые авторы, в частности М. С. Орлов (1993), предлагают использовать термин «гидроэкология», под которым они понимают научное направление, исследующее взаимосвязи и взаимодействие подземных вод с другими компонентами экосистемы. Экологическая роль подземных вод в экосистемах разного уровня оценивается в рамках экологической гидрохимии.

Большое внимание в инженерной геологии уделяется вопросам геоэкологического характера. Практически во всех работах данного направления экологическая тематика и проблематика в том или ином виде всегда затрагиваются. Это особенно касается того направления, которое изучает влияние человека на литосферу в процессе инженерно-хозяйственной деятельности.

Экологические проблемы затрагиваются и геокриологией, которая, как известно, представляет собой естественно-историческую науку геологического цикла, изучающую закономерности формирования и развития во времени и пространстве толщ мерзлых горных пород, а также мерзлотно-геологических процессов и явлений. В рамках этой науки рассматриваются экологически значимые для криолитозоны компоненты природной среды и осуществляется геоэкологическое районирование территории криолитозоны. Данную отрасль ряд ученых предлагает называть «геокриоэкологией», «экологией криолитозоны» или «экологическим мерзлотоведением».

В отличие от всех выше рассмотренных геологических наук экологическое направление в геофизике оформилось давно и известно под названием «экологическая геофизика», хотя существует и другой термин — «физическая экология». Экологические разработки в области геофизики затрагивают как теоретические аспекты, так и практическую сторону через методы экогеофизических работ и оценку действия физических полей на состояние органического мира, в том числе и человека.

Особенно интенсивно экологической проблематикой занимаются циклы наук биологической, почвоведческой, географической и геологи-

ческой направленности. В сферу биоэкологии включены все известные уровни организации жизни — от генов до биосферы. Экология составной частью входит в учение о почвах. В экологическом почвоведении рассматриваются экологические функции и экологическая роль почв, разрабатываются прикладные аспекты почвоведения. Широко используются экологические принципы и методологический подход в географическом цикле наук. Геоэкология занимается выявлением и исследованием связей, существующих между географическими объектами любого ранга и окружающей средой. Экологическая тематика разрабатывается в геологии. Существует специальная дисциплина — экологическая геология, составной частью которой являются экологическая геофизика, экологическая геохимия, экологическая гидрогеология, экологическое мерзлотоведение и т.д. Проводятся специальные геолого-экологические исследования и осуществляется разномасштабное геолого-экологическое картирование.

Контрольные вопросы

1. Каково взаимоотношение экологии и биологии?
2. В чем заключается особенность экологического почвоведения?
3. Какова особенность экологической проблемы в географии?
4. В чем заключаются различия экологической проблемы в геологии и географии?
5. Какие существуют экологические направления в геофизике и геохимии?
6. В чем заключается экологическая проблема в геохимии, инженерной геологии, гидрогеологии и мерзлотоведении?

Литература

- Герасимов И. П. Экологические проблемы в прошлой, настоящей и будущей географии мира. — М., 1985.
- Гиренок Ф. И. Экология, цивилизации, ноосфера. — М., 1987.
- Гирсов Э. В. Основные исторические этапы взаимодействия общества и природы. Общество и природа: исторические этапы и формы взаимодействия. — М., 1981.
- Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. Экологические функции почв. — М., 1986.
- Козловский Е. А. Геоэкология — новое научное направление // Международный геологический конгресс. Доклады советских геологов. Геоэкологические исследования в СССР. — М., 1989.
- Сергеев Е. М. Инженерная геология. — М., 1982.
- Сидоренко А. В. Человек, техника, Земля. — М., 1967.

СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕКТЫ ГЕОЭКОЛОГИИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

3.1. Происхождение терминов «геоэкология» и «экологическая геология»

Долгое время начиная с момента основания экологии как науки и вплоть до 70-х годов XX в., экологию рассматривали в качестве составной части биологии. Объектом исследований экологического направления биологической науки является изучение жизнедеятельности различных уровней живых организмов — от видов до крупнейших экосистем. К ним впоследствии добавились экологические объекты, изучаемые молекулярной генетикой, цитологией, гистологией и физиологией.

Экологией как составной частью биологической науки был сделан огромный вклад в общее развитие науки и озвучен фундаментальный вывод о наличии противоречия между природными объектами, природными системами и человеком.

Это противоречие заключается в том, что природные системы стремятся к увеличению сообществ, видов и более крупных таксономических единиц и способствуют поддержанию их на определенном уровне таксономического разнообразия. В то же время хозяйственная деятельность человека приводит к нарушениям существующего многообразия природы и способствует гибели определенных экосистем.

Длительные и оживленные дискуссии, протекавшие в 60-е и 70-е годы XX в., со всей очевидностью показали, что возникшее противоречие между человеком и остальной частью живой природы невозможно разрешить в рамках классической биологической науки. Эти дискуссии и возникшее широкое общественное движение за сохранность окружающей среды привели к тому, что представители небиологических научных дисциплин не только решили применять и использовать сам термин «экология», но и стали пользоваться в своих исследованиях разработанным экологическим направлением в биологии методологией и методами исследований. Таким образом, экология была введена в общий лексикон современной научной парадигмы для обозначения взаимоотношений человека с окружающей средой.

В настоящее время экология является комплексной наукой или системой наук, которая рассматривает как общие законы, так и закономерности функционирования экосистем различного иерар-

мического уровня, а также положение человека в экосистемах, меры и степень воздействия человека на существующие экосистемы. В соответствии с этим появилось множество научных направлений естественного и гуманитарного профиля, которые получили собственный статус. Для того чтобы подчеркнуть сугубо биологическое направление в экологии, которое исторически относилось к биологии, его нередко стали именовать *биоэкологией*.

В отличие от биоэкологии комплекс наук, изучающих состояние окружающей среды, т.е. состояние географической оболочки и в определенной мере геологической среды, исследователи выделили из глобальной или всеобщей экологии в качестве новой науки, которую стали именовать *геоэкологией*.

В середине XX в. термином «геоэкология» стали пользоваться представители как географических и геологических, так и социологических циклов наук, и поэтому довольно быстро этот термин превратился в термин свободного пользования. Его стали использовать при исследованиях и решениях любых, даже юридической направленности, проблем природоохранной деятельности.

Исходя из многосторонности оценки экологической ситуации, исследователи к содержанию термина «геоэкология» подходят многофакторно, и взгляды даже сторонников одного и того же научного направления существенно различаются. Особенно это различие проявилось у геологов и географов. Начиная с 70-х годов XX в. у работников геологической службы все большее распространение приобретает термин «геоэкология», но в геологическом смысле. В практику геологоразведочных работ в качестве самостоятельной разновидности введены так называемые геолого-экологические исследования с непрерывным составлением специальных карт. У некоторых представителей геологического направления термин «геоэкология» употребляется в суммарном его значении: геология + экология. С. В. Клубов и Л. Л. Прозоров справедливо отмечают (1993), что «геологи, обладая соответствующим арсеналом технических средств и технологией, способны решать задачи, связанные с изучением не только недр, но и техногенных последствий». При этом определяется содержание вредных веществ в воздухе, в водных источниках и водоемах, выявление вредных аномалий в почвенном покрове и местах утилизации.

Но все-таки надо учитывать и то обстоятельство, что с достаточно давних пор географы в объект своих исследований включили экологию и эту новую интеграцию наук именуют геоэкологией. В объект исследований они не только включают природные и антропогенные ландшафты, но и отмечают, что конечной целью изучения является оптимизация природопользования. Как было показано в предыдущих главах, многие исследователи рассматривают геоэкологию как третье направление в географии наряду с физической и социально-экономической географиями, но иногда это

направление даже предлагают именовать географией природопользования.

На основании многофакторности науки довольно быстро сложилось представление, что геоэкология является междисциплинарным направлением — своего рода метанаукой, в которой суммируются все существующие знания об экологическом состоянии Земли. В дальнейшем оказалось, что представители данного направления предлагают в сферу деятельности геоэкологии присоединить и знания об антропогенно измененных высокоорганизованных системах. Однако в таком широком понимании геоэкология не только поглощает классическую экологию или биоэкологию, но и становится синонимом термина «биология окружающей среды», введенного известным американским экологом Ю. Одумом.

Сторонники другого направления рассматривают геоэкологию как междисциплинарное направление наук о Земле, в котором объединены все знания об экологических свойствах и проблемах геосфер. Следовательно, объектом и предметом исследования геоэкологии в этом понимании становится географическая оболочка, в которую включается и геологическая среда. Таким образом, геоэкология рассматривает экологические функции геосфер, т.е. становится *экологией геосфер*. В таком понимании геоэкология может подразделяться на экологию атмосферы (метеоэкологию), экологию гидросферы, или гидроэкологию (экологию вод суши и экологию Мирового океана), экологию почв (педоэкологию), экологию литосферы (геологической среды).

Методологической основой геоэкологии являются системный анализ и многофакторный (синергетический) подход к изучению окружающей среды в тесной связи с изучением атмосферы, гидросферы, биосферы и техносферы. Функциональная единица изучения геоэкологии — геоэкологические системы. Таким образом, иерархические системы в геоэкологии выстраиваются в таком же порядке, как и в биоэкологии. В графическом виде структура и научное содержание геоэкологии приведены на рис. 3.1.

Весьма важными являются конечные выводы геоэкологических исследований, которые приводят к рациональному и шадящему подходу к окружающей среде и расширению медико-биологической информации. Это дает возможность при проведении соответствующего картирования определять места локализации тех или иных очагов заболеваний и коррелировать их с геоэкологическими условиями.

В более широком аспекте рассматривает геоэкологию В. И. Осипов (1993). По его мнению, объектом геоэкологии являются геосферные оболочки Земли, т.е. не только литосфера или геологическая среда, но и гидросфера, атмосфера и биосфера. В таком случае предметом геоэкологической науки является совокупность всех знаний о геосферах, включая изменения, происходящие под



Рис. 3.1. Структура и научное содержание геоэкологии

влиянием природных и техногенных факторов. Важнейшие задачи геоэкологии, по мнению Осипова, — анализ изменения геосфер под влиянием природных и техногенных факторов, рациональное использование водных, земельных, минеральных и энергетических ресурсов Земли, снижение ущерба, наносимого окружающей

среде природными и природно-техногенными катастрофами, и обеспечение безопасного проживания людей.

В качестве основного объекта изучения экологической геологии выделяют геологическую среду. Под ней подразумевают верхнюю часть литосферы, взаимодействующую с биотой, влияющую на среду обитания человека, которая находится во взаимодействии с техногенными факторами. В геологическую среду включают геобиосферу (фитобиосферу и педосферу суши) и литобиосферу (т.е. верхнюю часть литосферы, где организмы формируют примитивные биоценозы и размножаются), а также подземную часть техносферы. Они дифференцируют экологическую геологию на два блока: изучение геологической среды как фактора воздействия на организмы; исследование геологической среды в аспекте выявления опасных геологических процессов и явлений, угрожающих жизни людей и инженерным объектам.

Несмотря на то что термин «геоэкология» утвердился среди наук географического профиля сравнительно недавно, он быстро стал термином свободного пользования. Им широко пользуются в географических, геологических, социальных и других науках при разработке проблем природоохранной деятельности. Именно из-за широты применения термин «геоэкология» до сих пор трактуется по-разному.

Таким образом, геоэкология является междисциплинарным направлением, суммирует все знания об экологических проблемах Земли и представляет собой сочетание биологических, геологических, почвенных и географических наук. Объектом такой метанауки являются все высокоорганизованные системы; к ним же относятся системы, созданные человеком, и ландшафтные системы, измененные человеком. В таком понимании геоэкология поглощает классическую экологию или биоэкологию и становится синонимом термина «биология окружающей среды».

Сторонники других представлений рассматривают геоэкологию как междисциплинарное направление наук о Земле, объединяющее все знания об экологических проблемах геосфер. В соответствии с этим геоэкология, или экология геосфер, может быть подразделена на экологию атмосферы (метеоэкологию), экологию гидросфер или гидроэкологию с соответствующим подразделением на экологию вод суши и экологию Мирового океана, экологию почв (педоэкологию), экологию литосферы или экологическую геологию.

Сторонники третьего направления под геоэкологией понимают науку, изучающую законы взаимодействия литосферы и биосферы. Объектом ее исследований является литосфера, традиционная для изучения геологии геосфера, а предметом — экологические функции и экологические свойства геологической среды. Для этого направления часто используют термин «экогеология», а чаще —

«экологическая геология». Это направление экологической метанауки, в свою очередь, может подразделяться на динамическую экогеологию, экологическую геофизику, экологическую геохимию, экологическую геодинамику и т.д.

Под экологической геологией в настоящее время понимают научное направление в геологии, изучающее верхние горизонты литосферы. Предметом исследования являются экологические функции литосферы, а объектом исследования — традиционные для геологических наук геосферы Земли. Такое понимание термина необходимо дополнить еще одним существенным моментом. Экологическая геология должна изучать экологические функции не только литосферы, но и мантии и земного ядра, рассматривать геологическую роль и выделять экогеологические функции всех геосфер Земли, т.е. экологические свойства и экологические функции геологической среды в широком понимании этого термина, а также выявлять в экологическом аспекте взаимодействие геологической среды с биосферой. В таком случае в составе экологической геологии, кроме собственно экогеологии, изучающей экологические функции литосферы, должны находиться историческая геоэкология (научное направление, изучающее экологическое состояние среды в геологическом и историческом прошлом), экологическая геодинамика и экологическая тектоника, экологическая гидрогеология, экологическая геохимия, экологическая геофизика, экологическая геокриология, экологическая инженерная геология.

Следовательно, в общем виде экологическая геология — это наука, изучающая законы взаимодействия литосферы и биосферы, выявляющая геологическую роль и геоэкологическую специфику всех внешних геосфер Земли, выясняющая экологическую роль мантии и земного ядра и учитывающая специфику геологической роли человека и его хозяйственную деятельность.

3.2. Понятийная и терминологическая база геоэкологии и экологической геологии

В связи с тем что экология является интегрирующей наукой множества естественно-научных направлений, в настоящее время в ней используется огромное количество терминов и понятий, многие из которых требуют специального разъяснения и определения. Вполне естественно, что рассмотрение всех без исключения терминов просто невыполнимо. Поэтому остановимся только на главных из них. Деятельность человека, как и всех остальных представителей животного мира, протекает на Земле в пределах определенного пространства, которое именуется *окружающей средой*. Под окружающей средой принято понимать систему взаимосвязанных

природных или антропогенных объектов и явлений, в пределах которых протекает вся жизнедеятельность человека и животных. Взаимодействие природных объектов и явлений, с одной стороны, и органического мира, с другой, протекает через круговорот веществ. Для человечества окружающая среда включает природные, социальные и искусственно создаваемые, различные по назначению и масштабам природные объекты, прямо или косвенно действующие на жизнь и благосостояние людей. Факторы окружающей среды делятся на естественные (природные) и искусственные (антропогенные или техногенные).

Местообитание данного организма — это место, где он живет, или место, где его можно найти. Сообщество организмов или любая совокупность популяций, населяющих определенную территорию, называются *биотопом* (от греч. «био» — жизнь, «тоπος» — место). Это участок земной поверхности, характеризующийся однородностью геологического строения, микроклимата, водного режима, рельефа и почвенного покрова, занятый определенным биологическим сообществом. В общем виде биотоп — неорганический компонент биогеоценоза.

Биогеоценоз (от греч. «биос» — жизнь, «гея» — Земля, «койкос» — обитание) — однородный участок земной поверхности с определенным составом живых и косных компонентов, объединенных общим веществом и энергией в единый природный комплекс. Совокупность биогеоценозов составляет биосферу.

Составной частью биогеоценоза является *биоценоз* — совокупность животных, растений, грибов и микроорганизмов, совместно населяющих определенный участок суши или водоема. В англоязычных странах используется близкий термин — *сообщество*. Выделяют *фитоценоз* — совокупность растений и *зооценоз* — совокупность животных.

Экологическая ниша не только включает физическое пространство, занимаемое организмом, но и фиксирует функциональную роль организма в сообществе и его положение относительно градиентов внешних факторов — температуры, влажности, кислотности почвы и других условий существования организмов (Ю. Одум, 1986). Экологическая ниша организма — понятие многомерное и зависит не только от того, где и как живет организм, но и от того, что делает он в пространстве, т.е. как и каким образом преобразуется энергия, как реагирует на те или иные физические или биологические аспекты среды и как организм изменяет среду обитания, а также от того, как он ограничен сферами влияния других видов.

Окружающую среду составляют *геосферы Земли*. Под ними понимаются более или менее концентрические слои, охватывающие всю Землю и обладающие присущими только им характерными физическими, структурными, физико-химическими, химически-

ми и биологическими свойствами. Геосферы подразделяются на внешние и внутренние. К внешним относятся атмосфера и гидросфера, которая, в свою очередь, подразделяется на гидросферу суши, Мирового океана и подземную часть гидросферы, а также земную кору. К внутренним геосферам относятся мантия и ядро.

Земная кора, атмосфера и гидросфера входят в состав *биосферы* — сложной прерывистой оболочки Земли, являющейся средой обитания биоты — живого вещества планеты. Под биосферой австрийский геолог Э. Зюсс, впервые употребивший этот термин в 1875 г., понимал тонкую живую оболочку Земли. Это понятие в настоящее время равноценно современному понятию «биота». По-иному понимал биосферу В. И. Вернадский (1967): «Биосфера — это среда нашей жизни, это та «природа», которая нас окружает». Биосфера, по Вернадскому, включает не совокупность организмов, а составляет единое живое вещество планеты, находящееся в постоянном взаимодействии с абиотической средой и биокосными системами. Ученым очерчены границы биосферы. Верхняя граница проведена у озонового экрана, т. е. на высоте 17—25 км над Землей, а нижняя — внутри стратисферной части литосферы, т. е. до термической отметки 100 °С, которая располагается на глубине 8—10 км в зависимости от геотермического градиента. В таком случае в природе существуют и ископаемые, или былые биосферы. Следы древних биосфер, существовавших в геологическом прошлом, сохранились в виде окаменелостей животного и растительного мира, а также следов их жизнедеятельности. С термином «биосфера» тесно смыкается термин «*экосфера*», которым Ю. Одум (1971) определял сферу деятельности живых организмов и окружающую их среду. Таким образом, в определенной мере правы те ученые, которые считают, что биосфера и экосфера являются синонимами, и на этом основании предпочитают не пользоваться термином «экосфера».

Биосфера, в свою очередь, распадается на ряд частных экосистем. Этот термин был введен в экологию английским геоботаником А. Тенсли в 1935 г. *Экосистемой* называют любое сообщество живых организмов и его среду обитания, объединенные в единое функциональное целое. Размеры экосистем могут меняться в широких пределах — от стебля растения или ствола дерева до органических сообществ гигантских размеров. К глобальной экосистеме относится сама биосфера.

Важнейшим понятием в экосистеме считается *биогеоценоз* — единый взаимообусловленный природный комплекс, представляющий собой совокупность растений, животных и микроорганизмов с соответствующим участком земной поверхности — биотопом. Следовательно, биогеоценоз — это совокупность биотических и абиотических факторов, т. е. биоценоза и биотопа.

По сути понятия «экосистема» и «биогеоценоз» являются синонимами. Термином «экосистема» широко пользуются американские

ученые, а «биогеоценоз» — европейские, в том числе и российские исследователи. Литосфера, гидросфера, атмосфера и биосфера с входящими в них биогеоценозами составляют природную среду или природные оболочки. Но кроме природных существует и расширяется искусственная или антропогенная (техногенная) оболочка. *Техносфера* — это созданная деятельностью человека среда обитания, являющаяся частью биосферы. К техносфере относятся все хозяйственные объекты — природно-технические, геотехнические, инженерно-геологические, технические системы и функционирующие в них технологические процессы. Хозяйственными объектами или хозяйственными системами являются промышленность, сельское хозяйство, строительная индустрия, жилищно-коммунальное хозяйство.

Под воздействием хозяйственной деятельности человека техносфера развивается и в результате разумных целенаправленных действий человека заставляет биосферу переходить в качественно новое состояние — *ноосферу* (от греч. «ноос» — разум, «сфера» — шар), или сферу разума. Понятие «ноосфера» было введено в науку французским математиком и философом Э. Леруа в 1927 г. и широко использовалось французским биологом П. Тейяром де Шарденом начиная с 1930 г. Особенно широко пользовался этим термином В. И. Вернадский, который первым глубоко обосновал переход биосферы в ноосферу. Ноосфера представлена Вернадским как особая оболочка Земли, к которой должно прийти разумное развитие человечества и в пределах которой проявляется позитивная хозяйственная деятельность человеческого общества. Ноосфера отражает духовную жизнь общества и, по мнению ряда ученых, представляет собой вторую составную часть (после техносферы) — *социосферу*. Социосфера, или антропосфера (от греч. «антропос» — человек, «сфера» — шар), — это сфера Земли и Ближнего Космоса, которая в наибольшей степени прямо или косвенно видоизменена деятельностью человека.

Пространство, в котором взаимопроникают и взаимодействуют литосфера, гидросфера и атмосфера, носит название *географической оболочки*. Ей присуща целостность, обусловленная непрерывным обменом веществом и энергией между ее составными частями. В пределах географической оболочки происходит круговорот вещества, создающий многократные повторения одних и тех же процессов и явлений, обуславливающий их высокую суммарную эффективность и обеспечивающий непрерывность развития. Эта оболочка является открытой системой, получающей поток энергии в виде солнечного излучения и частично за счет геофизических процессов, протекающих в недрах Земли. Она формируется не только в результате взаимодействия перечисленных выше геосфер, но и главным образом за счет деятельности организмов и под воздействием солнечной энергии.

В 80-е годы XX в. в геологическую науку было введено понятие «геологическая среда», которая, по мнению ряда ученых, представляет собой часть географической оболочки. Она соответствует самой верхней части земной коры и выступает как минеральная основа биосферы. Автор этого термина Е. М. Сергеев (1979) и его последователи под геологической средой понимают верхнюю часть литосферы, находящуюся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека, которая, в свою очередь, и определяет эту деятельность. Верхней границей геологической среды в таком понимании является поверхность рельефа, характерная для конкретной территории. Нижняя граница геологической среды зависит от глубины проникновения человека в толщу земной коры в ходе различных видов его деятельности. Единственная в мире сверхглубокая скважина имеет глубину 12 261 м, и эта отметка является рекордной. Как известно, многочисленные нефтеразведочные, нефте- и газодобывающие скважины имеют глубину 5—6 км.

Следуя представлениям Е. М. Сергеева, в геологическую среду необходимо включать почвы и верхние горизонты горных пород, в пределах которых происходит инженерно-геологическая деятельность человека. Таким образом, по мере расширения хозяйственных работ границы геологической среды будут изменяться.

Однако такое понимание геологической среды связано только с утилитарным направлением и основывается исключительно на инженерно-геологической деятельности человека. На наш взгляд, понятие «геологическая среда» должно рассматриваться в более широком плане: геологическая среда — это то пространство, где совершаются геологические процессы. Независимо от места своего возникновения (в глубоких недрах или на земной поверхности) эндогенные и экзогенные процессы, взаимодействующие между собой и с внешними геосферами, совершают в огромнейших масштабах разнообразные геологические преобразования. При определенных условиях в геологической среде возникает вся масса горных пород и минералов, существуют органические сообщества, действуют геологические силы, преобразующие лик Земли, возникают катастрофические, стихийные геологические явления.

Основными составляющими частями геологической среды являются:

- горные породы, минералы и почвы, в том числе искусственные, созданные в результате хозяйственной деятельности человека;
- эндогенные и экзогенные геологические процессы, действующие в определенных условиях геологической среды;
- нижняя часть атмосферы;
- гидросфера, в том числе подземная;
- инженерно-геологические объемные тела и искусственные многокомпонентные динамические системы.

Следовательно, в отличие от прошлого в геологической среде не только действуют и формируются сугубо природные объекты и системы, но и в нее проникают вещества и объекты техносферы. Геологическую среду, в которой действуют геологические и инженерно-геологические процессы, характеризуют материальные объекты — компоненты геологической среды, а также энергетические составляющие, в число которых входят геофизические поля и геохимические аномалии, вместе образующие геопатогенные зоны.

3.3. Объекты и предмет исследований геоэкологии и экологической геологии

Объектом изучения геоэкологии является географическая оболочка, включающая атмосферу, поверхностные воды суши, Мировой океан и почву. Предмет ее исследований связан с экологическими функциями атмосферы, гидросферы и педосферы. Если экологические функции в отношении почвы в настоящее время благодаря исследованиям почвоведов и главным образом Г. В. Добровольского и Е. Д. Никитина (1990) можно считать окончательно оформленными, то в отношении других геосфер они пока только очерчены. Под экологическими функциями следует понимать роль отдельных геосфер в жизни, сохранении и эволюции экосистем в целом.

Объектом исследования экологической геологии являются традиционные для геологического цикла наук внутренние геосферы Земли, т. е. литосфера, мантия и земное ядро, а также геологическая роль внешних геосфер — атмосферы и гидросферы. В то время как поверхность литосферы до глубин 12 км доступна для изучения прямыми геолого-экологическими методами, внутренние части литосферы, астеносфера, верхняя и нижняя мантии, а также внешнее и внутреннее ядро изучаются пока только в теоретическом плане — на основе интерпретации сейсмических, гравитационных, электротеллурических, электромагнитных и иных данных и на основе тех специфических наблюдений, с помощью которых выявляются действия глубинных процессов, определенным образом отражающихся на земной поверхности, в атмосфере и гидросфере.

Приведенное выше довольно широкое определение экологической геологии не должно казаться всеохватывающим. Оно укладывается в определенные рамки, обусловленные объектами исследований геологических наук, которые дополняются их экологической сущностью. Предметное поле экологической геологии формируется в плоскости пересечения биологии и геологии. Таким образом, предметом исследования экологической геологии

являются экологические функции литосферы, мантии и земного ядра и геологическая роль внешних оболочек Земли, выраженная в форме геологических процессов. Причем геологическая роль внешних геосфер и их экологические функции рассматриваются под углом зрения их влияния как на биосферу в целом, так и на составляющие ее компоненты, т. е. на разные по структуре и объему экосистемы.

В то же время надо иметь в виду, что экологические функции атмосферы, гидросферы, географических ландшафтов и других надлитосферных компонентов, равно как и географической среды в целом, должны глубоко изучаться экологической географией, которая продолжает именоваться геоэкологией, а почвы — экологическим почвоведением.

Как справедливо отмечают некоторые авторы, в частности В. Т. Трофимов (1995), весь узел противоречий и разночтений в геоэкологии связан с разграничением сфер влияния и объектов исследования геологии, географии и почвоведения. Опираясь на понятия «ландшафт» и «геологическая среда» с весьма расплывчатыми и неустоявшимися границами геологи и географы в объектах своих исследований часто включают одни и те же геосферные оболочки или их части, в частности зону аэрации почвы, кору выветривания, поверхностные и подземные воды, рельеф. Справедливо ради надо отметить, что представители географической науки слабо используют термин «экологическая география», а оперируют определениями типа «экология воздушного бассейна», «геохимия ландшафта», «экология Мирового океана». И здесь объектами исследований выступает абиотическая составляющая глобальных экосистем, что позволяет считать их составными частями экологической географии. Кроме них к этому же направлению должна относиться и биогеография, занимающаяся экологическими проблемами возникновения и распределения экосистем на уровне ландшафтов.

В таком случае экологическая геология, экологическая география, как и экологическое почвоведение, выступают составными частями геоэкологии. Следовательно, геоэкология должна рассматриваться как междисциплинарная наука, ассимилирующая всю информацию об экосистемах Земли высокого уровня организации, включая человеческую популяцию, техносферу и ноосферу (В. Т. Трофимов и др., 1995).

Несмотря на то что термин «геоэкология» существует с 1939 г., его весьма неоднозначно используют науки географического и геологического направлений. В настоящее время геоэкология по сути стала экологией геосфер. В связи с этим предлагается оставить геоэкологию в качестве термина науки междисциплинарного направления, которая состоит из экологических научных направлений геологического,

географического и почвоведческого циклов. Понятийная и терминологическая база геоэкологии геологической и географической направленности основывается на общеэкологических терминах. Таковыми, в частности, являются биогеоценоз, экосистема, биоценоз, фитоценоз, экологическая ниша, биосфера и экосфера. Однако кроме них геоэкология использует собственными терминами — географическая оболочка, геоэкологическая среда, которые являются терминами высших систем в геоэкологической иерархии. Объектами изучения геоэкологии географической и геологической направленности являются все известные науки геологии и географии направления и предметы, но с точки зрения их экологической роли.

Контрольные вопросы

1. Что изучает геоэкология?
2. На какие направления подразделяется геоэкология?
3. В чем суть экологии геосфер?
4. В чем заключается системный подход в геоэкологии?
5. В чем заключается отличие экологической геологии от геоэкологии в географическом аспекте?
6. На чем основывается понятийная база геоэкологии?
7. Что означает термин «окружающая среда»?
8. Чем отличается биота от биома?
9. Что означает понятие «экологическая ниша»?
10. Чем отличается биогеоценоз от экосистемы?
11. Что такое ноосфера?
12. Что является объектом исследования геоэкологии и экологической геологии?

Литература

- Теория и методология экологической геологии / Под ред. В. Т. Трофимова. — М., 1997.
- Экологические функции литосферы / Под ред. В. Т. Трофимова. — М., 2000.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ГЕОСФЕР

Объектом исследований геоэкологии является экологическое состояние геологического прошлого и настоящего географической оболочки и геологической среды. Именно в таком подходе заключается существенная разница между геоэкологиями в географическом и геологическом смыслах. Географическая оболочка и геологическая среда являются равновеликими понятиями. Первая включает атмосферу, всю гидросферу (Мировой океан, поверхностные и подземные воды суши), почву и верхнюю часть литосферы. Геологическая среда — это область, в которой протекают геологические процессы. Следовательно, геологической средой могут быть не только литосфера, мантия и земное ядро, но и атмосфера и гидросфера, в которых протекают геологические процессы — эрозия, денудация, транспортировка осадочного материала (его аккумуляция, литификация и выветривание). Процессы, протекающие в недрах Земли, прямо или косвенно отражаются на экологическом состоянии земной поверхности, а сами атмосфера и гидросфера непосредственно принимают в них участие, а значит, течение геологических процессов отражается на жизненных функциях организмов, в том числе на жизнедеятельности человека.

Предмет исследования геоэкологии и экологической геологии — выяснение геологической роли и определение экологических функций отдельных геосфер. Представление об экологических функциях было обосновано и развито почвоведом Г. В. Добровольским и Е. Д. Никитиным (1990). Этими же авторами было введено понятие «экологическое почвоведение», трактуемое ими как учение об экологических функциях почв, под которыми они подразумевают роль и значение почв, а также почвенных процессов в жизни человеческого общества, сохранении и эволюции экосистем и биосферы в целом. Е. Д. Никитин и другие ученые (1992) считают логичным выявить и охарактеризовать экологические функции других оболочек Земли и биосферы в целом. Это, по их мнению, даст возможность глубже осмыслить единство среды обитания человека, понять незаменимость компонентов биосферы, которые в результате длительного развития тесно переплелись и обусловили развитие друг друга через круговороты вещества и энергии.

4.1. Экологические функции геосфер

До настоящего времени отсутствуют четко сформулированные представления о предмете и содержании понятия «экологические функции». Под экологическими функциями следует понимать значение каждой геосферы в сохранении и эволюции экосистем в целом, особо при этом вычлняя их роль в эволюции человеческой общности и в жизнедеятельности человека.

К числу экологических функций педосферы, согласно Г. Д. Добровольскому и Е. Д. Никитину (1986), относятся:

- сохранение жизненного пространства;
- роль педосферы как источника элементов питания;
- значение почв в функции аккумуляции веществ, поступающих из соседних сред;
- санитарная роль в качестве буферного защитного экрана.

В табл. 4. 1 показаны глобальные экологические функции почв. Важнейшая экологическая функция педосферы заключается в сохранении и повышении почвенного плодородия. Для решения этой функции разрабатывается комплекс мер по рациональному использованию всех существующих почвенных ресурсов. Исследования в области экологических функций почв дали принципиально новое и в то же время более глубокое понимание функций почв в биосфере и одновременно поставили в качестве самостоятельной крупной задачи всесторонний экологический анализ как самой биосферы, так и входящих в ее состав других геосфер, в частности атмосферы, гидросферы и литосферы. Работы в данном направлении и оригинальный подход показали, что выявленное разнообразие экологических функций педосферы может быть использовано для экологофункционального анализа других геосфер — биосферы, атмосферы, гидросферы и литосферы.

Экологические функции атмосферы заключаются в обеспечении условий:

- жизнедеятельности организмов;
- функционирования гидросферы, литосферы и почвы;
- формирования климата;
- возникновения экстремальных явлений и стихийных бедствий;
- развития человечества.

Экологические функции атмосферы показаны на рис. 4.1.

Наряду с экологическими атмосфера обладает и геологическими функциями. Геологическая роль атмосферы заключается в том, что ее строение, элементарный состав, состояние и взаимодействие с литосферой, почвенным покровом, гидросферой, равно как и протекающие в ней процессы, определяются скоростями и масштабностью воздействия на поверхностную часть литосферы физико-химических факторов, которые определяют интенсивность и скорость воздействия агентов вывет-

Таблица 4.1

Глобальные экологические функции почв (педосферы)

Педосферы			
литосферные	гидросферные	атмосферные	общебиосферные
Биохимическое преобразование верхних слоев литосферы	Трансформация поверхностных вод в грунтовые	Поглощение и отражение солнечной радиации	Среда обитания, аккумулятор и источник вещества и энергии для организмов суши
Источник вещества для образования минералов, пород, полезных ископаемых	—	Регулирование влагооборота атмосферы	Связующее звено биологического и геологического круговоротов, планетарная мембрана
Передача аккумулятивной энергии в глубокие части литосферы	Участие в формировании речного стока	Источник твердого вещества и микроорганизмов, поступающих в атмосферу	—
—	Фактор биопродуктивности водоемов за счет приносимых почвенных соединений	Поглощение и удержание некоторых газов от ухода в космическое пространство	Защитный барьер и условие нормального функционирования биосферы
Защита литосферы от чрезмерной эрозии и условие ее нормального развития	Сорбционный, защищающий от загрязнения барьер акваторий	Регулирование газового режима атмосферы	Фактор биологической эволюции

ривания, эрозии, транспортировки и аккумуляции осадочного материала.

Атмосфера — важный источник веществ для формирования почв, горных пород и полезных ископаемых. Среди химических элементов главнейшими являются кислород и углерод, который в атмосфере находится в форме диоксида, а также молекулярный азот и взвешенные аэрозольные частицы. Атмосфера не только является преобразователем солнечной энергии, но и одновременно служит источником строительного материала оксидов углерода и частично аэрозолей для живых организмов.

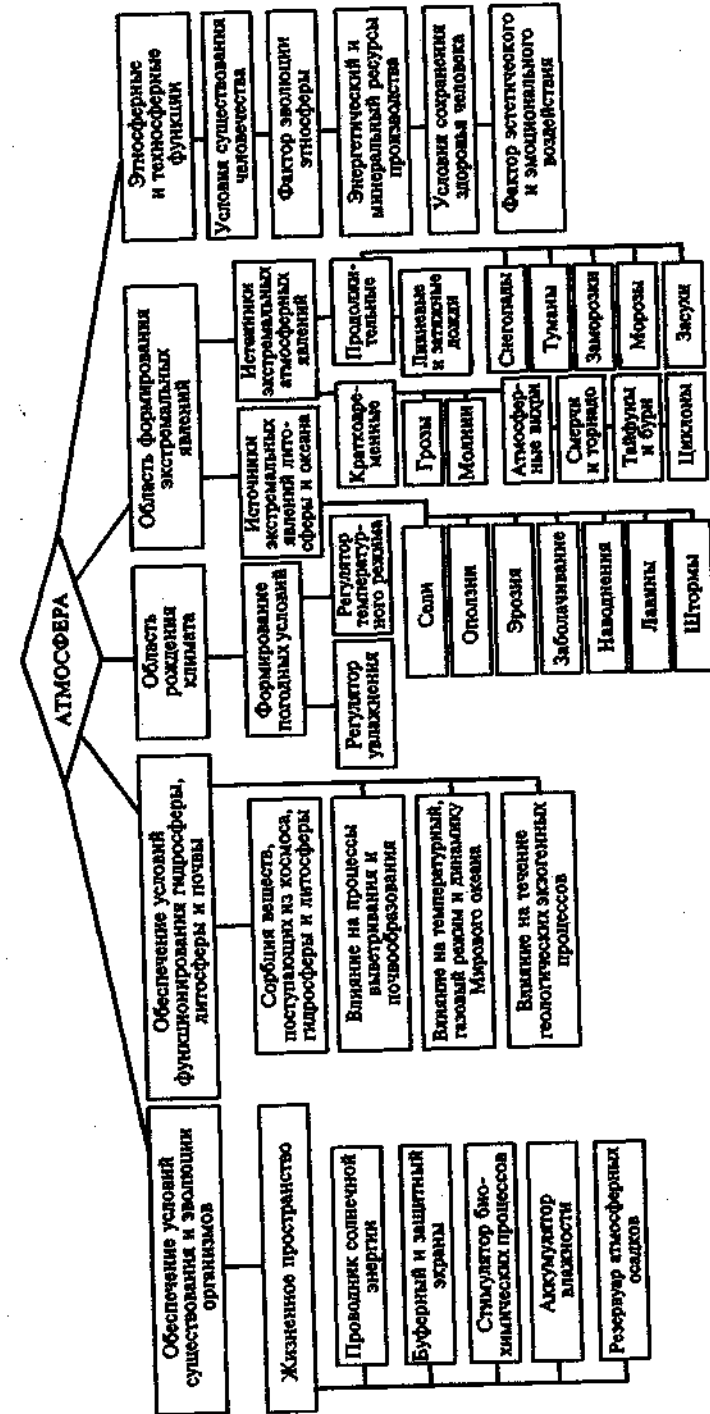


Рис. 4.1. Экологические функции атмосферы

Вместе с тем интенсивная хозяйственная деятельность во многом видоизменила экологические функции воздушной оболочки и вызвала деградационные изменения.

Экологические функции Мирового океана, по Б. С. Залогину и К. С. Кузьминской (1997), вытекают из его взаимодействия с атмосферой и верхней частью литосферы, которое приводит к широкому газообмену, способствует возникновению климата и погодных условий, обуславливает распределение температуры, солености и плотности Мирового океана, вызывает поверхностную и глубинную гидродинамику. Все это играет ведущую роль в распределении биоты и обуславливает жизнедеятельность организмов, транспортировку и аккумуляцию вещества.

Геологическая роль гидросферы состоит в том, что она как один из главнейших экзогенных факторов преобразует земную поверхность, участвует в формировании рельефа, переносит во взвешенном и растворенном состоянии вещества и химические соединения и участвует в аккумуляции осадочного материала.

Экологические функции мантии и земной коры выражаются в тех изменениях, которые они вносили в геологическом прошлом и продолжают вносить в настоящее время в форме отраженных процессов, происходивших в глубоких недрах. Это так называемое газовое дыхание Земли, т. е. выделение газовых эманаций, влияющих на здоровье людей, это различные вулканические извержения и глубоко- и мелкофокусные землетрясения. Но кроме того, они являются источниками конвективных потоков вещества, так называемых плюмов, благодаря которым осуществляется перемещение как отдельных блоков, так и огромных литосферных плит.

Экологические функции приповерхностной части литосферы вместе с геологической ролью атмосферы и гидросферы в планетарном виде определяются их ролью в жизнедеятельности и эволюции органического мира, главным образом человеческой популяции. Приоритет человеческой популяции в глобальной экосистеме обусловлен ее активным воздействием на среду обитания. Именно в таком аспекте и качестве литосфера ранее никогда не изучалась в рамках традиционной биоэкологии, экологической географии, экологии ландшафтов и экологического почвоведения. Специфика экологической геологии по сравнению с другими разделами геоэкологии заключается в том, что она акцентирует внимание на исследованиях, обеспечивающих условия обитания человеческой популяции, а также разрабатывает меры по сохранению благоприятных условий жизнедеятельности.

Экологическая функция литосферы, согласно В. Т. Трофимову и др. (1997, 2000), складывается из трех частей:

ресурсной, которая определяет возможность жизнедеятельности и благополучного развития человеческого общества;

геодинамической, связанной с проявлениями и динамикой природных и антропогенных геологических процессов, которые в той или иной мере влияют на условия жизнеобитания и жизнедеятельности человеческого общества;

геохимической и геофизической (медико-санитарной), определяющей воздействие на состояние здоровья человека разнообразных природных и техногенных геохимических аномалий и геофизических полей.

Все вышеперечисленные функции геологической среды определяют и практические задачи, которые способна решить экологическая геология как самостоятельно, так и совместно с комплексом наук о Земле.

К основным задачам в рамках ресурсных функций геосфер, по В. Т. Трофимову и др. (1997, 2000), относятся:

характеристика структуры и особенности строения отдельных геосфер;

оценка минеральных ресурсов и природных богатств с обоснованием экологических последствий при их освоении, использовании и эксплуатации;

разработка мер и мероприятий по повышению эффективности использования природных богатств;

оценка состояния и разработка рациональных методов сохранения ресурсов поверхностных и подземных вод, используемых для питьевых и бытовых нужд и технического назначения;

обоснование управления состоянием и свойствами техногенных и естественных ассоциаций горных пород;

разработка приемов, методик, рецептов и технологий для рациональной добычи; организация и разработка технологий малоотходных способов обогащения, разработка принципов утилизации твердых, жидких и газообразных продуктов переработки и обогащения минерального сырья, продуктов техногенеза, промышленных и бытовых отходов.

В рамках геодинамических функций литосферы основные задачи экологической геологии, согласно В. Т. Трофимову и др. (1997, 2000), сводятся к следующему:

изучение особенностей проявления изменения геологической среды в результате активизации эндо- и экзогенных процессов, а также воздействий геологического характера на внешние оболочки Земли и на поверхность литосферы антропогенной деятельности;

оценка степени проявления и прогнозирование катастрофических процессов и определение уровня устойчивости территорий к природным и техногенным воздействиям;

разработка инженерно-геологических мер и методов защиты территорий от природных, геологических и антропогенных процессов, обуславливающих негативные экологические последствия;

разработка инженерно-геологических мер защиты территорий от опасных стихийных бедствий.

Практические задачи, вытекающие из геохимических и геофизических функций географической оболочки и геологической среды, следующие:

выделение полей развития и изучение природных геофизических и геохимических аномалий, прямо или косвенно воздействующих на жизнедеятельность биологических систем, в том числе и на здоровье человека;

изучение физического состояния и определение степени химического преобразования горных пород, которые оказались под воздействием техногенеза;

изучение физического и геохимического воздействия на литосферу различных видов и объектов инженерно-геологической деятельности и определение закономерностей миграции и концентрации химических элементов в результате техногенной деятельности;

изучение и оценка степени изменения химического и газового состава поверхностных и подземных вод;

оценка степени защищенности поверхностных, грунтовых и артезианских вод от техногенного загрязнения;

разработка мер и определение участков для безопасного захоронения токсических и радиоактивных отходов, изучение геохимического состояния территорий, в пределах которых оказались захороненными техногенные отходы;

изучение геохимического состояния ландшафтов, обоснование обезвреживания и необходимости изъятия из природных сред и прерывание кругооборотов токсичных и радиоактивных элементов и соединений в результате сооружения специальных геохимических барьеров.

Изложенные в краткой форме экологические функции педосферы, атмосферы, гидросферы и литосферы однозначно свидетельствуют о функциональной сложности и необычайно высокой динамичности отдельных геосфер, разнообразии тесной сопряженности и взаимообусловленности их экологических функций. Отсюда неизбежен вывод о том, что нарушение какого-либо одного компонента любой геосферы с неизбежностью приводит к тому или иному глубокому кризисному нарушению других ее компонентов. Следовательно, нельзя планировать автономное освоение какого-то одного, на первый взгляд отдельного и самостоятельно-го, ресурса биосферы, не считаясь с тем, как оно отразится на других ее составляющих.

Ввиду того что биосфера является сложноорганизованной глобальной целостной системой, при разработке проблем, связанных с ее экологическими функциями, необходимо в первую очередь учитывать ее значение для устойчивого развития нашей планеты и тот громадный вклад в естественную эволюцию биокосного веще-

ства, который она внесла за прошедшие 4 млрд лет развития Земли, и, следовательно, проследить эволюцию биосферы как уникального космического феномена.

Взаимодействие биосферы с внешними оболочками Земли, т.е. гидросферой, атмосферой и верхней частью литосферы, в том числе с педосферой, обеспечивает живое и косное вещество энергией и веществом, необходимыми для их развития и взаимодействия. Среди функций при взаимодействии биосферы с внешними космическими оболочками, по Е.Д. Никитину и др. (1992), выделяют блокировку жесткого космического излучения, диспергацию и трансформацию метеоритного вещества, резкое снижение метеоритной бомбардировки поверхности планеты, а также функции, связанные с ограничением отдачи земного вещества в космическое пространство. При взаимодействии с внешними геосферами и Космосом биосфера участвует в процессе создания сложноорганизованного вещества, в подзарядке внутренних геосфер энергией и трансформации эндогенного вещества Земли.

Изучение геологической роли и экологических функций оболочек и вытекающих из этого практических задач в рамках экологической геологии как составной части геоэкологии преследует единственную цель — безопасность жизнедеятельности органического мира, благополучие и здоровье человека. И, следовательно, в этом смысле экологическая геология и геоэкология смыкаются с социальной экологией. Последняя, как известно, рассматривает социально-экономические и медико-биологические проблемы. Кроме того, к числу задач социальной экологии относится принятие управленческих решений, базу для которых создают исследования географической оболочки и геологической среды.

4.2. Влияние социально-экономических факторов на экологические функции геосфер

Наряду с природными факторами, обуславливающими функционирование геосфер, огромное влияние на их развитие оказывают возникающие социально-экономические факторы. Причем по мере их воздействия видоизменяются как сами экологические функции, а следовательно, и постановка проблем, так и пути решения различных геоэкологических задач. Среди социально-экономических факторов самым главным является рост численности населения. Это не только географическое распределение и плотность населения, возрастная структура, степень и направление миграции, демографическая политика, но и здоровье и благосостояние жителей Земли.

Чем больше темп роста численности населения, тем сильнее оказывается нагрузка на поверхностные оболочки, тем интенсивнее используются природные ресурсы Земли, тем быстрее они ис-

тощаются. Впервые на влияние роста населения на природные факторы и главным образом на снижавшуюся возможность обеспечения продовольствием из-за сокращения почвенных ресурсов и ухудшения плодородия обратил внимание Томас Р. Мальтус (1766—1834) — английский экономист, ученый-богослов, который в работе «Опыт о законах народонаселения» в 1798 г. сформулировал два основных положения:

рост средств существования значительно отстает от роста численности населения;

в силу биологических особенностей население Земли размножается в геометрической прогрессии, в то время как средства существования увеличиваются лишь в арифметической.

Эти два положения, равно как и сам подход Т. Р. Мальтуса к проблеме народонаселения, подверглись в XX в. ожесточенной критике сторонниками марксистско-ленинской идеологии.

Законы Т. Р. Мальтуса опирались на «закон убывающего плодородия почв», обоснованный французским экономистом А. Р. Ж. Тюрго. Согласно этому закону, каждое дополнительное вложение труда в почву дает меньший эффект по сравнению с предыдущим вложением, а после какого-то определенного предела всякий дополнительный эффект становится невозможным.

Надо отметить, что, несмотря на ожесточенную критику и длительную дискуссию, в целом основные положения Т. Р. Мальтуса оказались правильными.

Непрерывный и стремительный рост численности населения продолжается (табл. 4.2 и рис. 4.2).

Человечество встало перед необходимостью решать продовольственную проблему, но вместе с ней возникли многие другие экологические проблемы, связанные с жизнеобеспечением огромного населения Земли. Отсюда вытекает необходимость решения проблемы роста численности населения. В некоторых странах

Таблица 4.2

Рост численности населения Земли (по Ф. Бааде)

Период до н. э., лет	Рост, млн чел.	Время удвоения численности, лет	Период н. э., лет	Рост, млн чел.	Время удвоения численности, лет
7000—4500	10—20	2500	0—900	160—320	900
4500—2500	20—40	2000	900—1700	320—600	800
2500—1000	40—80	1500	1700—1850	600—1200	150
1000—0	80—160	1000	1850—1950	1200—2500	100
			1950—1988	2500—5000	38

приняты законы, позволяющие регулировать рост численности населения.

Кроме проблем относительно нехватки продовольствия и чистой питьевой воды рост численности населения тесно связан с геоэкологическими проблемами.

Неправильная демографическая политика и традиционность мышления вместе с экстенсивным возделыванием брошаемых земель и переходом на монокультурное производство сельскохозяйственной продукции не только приводят к нарушению почвенного покрова, но и являются причиной возникновения экологических катастроф. Ярким примером этому может служить экологическая катастрофа Аральского моря, бассейнов рек Амударьи и Сырдарьи, района Великих озер в Северной Америке и т. д.

Другим немаловажным социально-экономическим фактором, напрямую влияющим на экологическую обстановку, является рост темпов потребления природных ресурсов. С одной стороны, он обусловлен ростом численности населения, а с другой — необходимостью повышения благосостояния населения. Как известно, природные ресурсы — это важнейшие компоненты окружающей человека естественной среды, используемые в процессе общественного производства для удовлетворения материальных и культурных потребностей человеческого общества. К природным ресурсам относятся солнечная энергия, земельные, минеральные, водные, растительные ресурсы и ресурсы животного мира. Природные ресурсы делятся на возобновляемые и невозобновляемые. К числу последних относятся минеральные и земельные ресурсы.

В настоящее время немногим более 55 % поверхности суши освоено человеком и используется для хозяйственных нужд. Но некоторые территории Земли скорее всего никогда не будут освоены человеком из-за труднодоступности и неблагоприятных климатических условий. К их числу относятся территории, покрытые ледниками, пустынями, и высокогорные области. Около 88 % потребляемых пищевых продуктов человек получает с возделываемых земель, около 10 % — с естественных пастбищ и лесных мас-

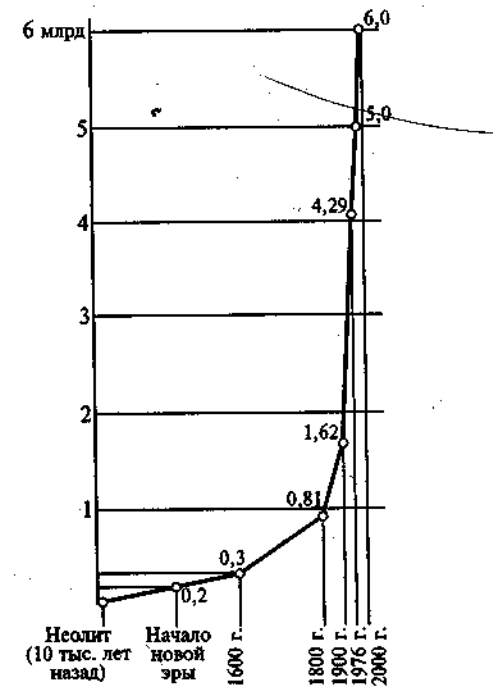
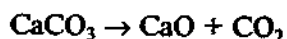


Рис. 4.2. Рост народонаселения Земли

сивов и только около 2% — из Мирового океана. Долгое время существовало мнение о том, что Мировой океан в будущем сможет обеспечить человечество не только минеральными ресурсами, но и продуктами питания. Как оказалось, в действительности Мировой океан не может полностью обеспечить человечество белковой пищей, но является перспективным источником нефти и газа, железа и марганца, пресной воды, некоторых солей и фосфоритов.

Энергетические ресурсы планеты расходуются во все возрастающих темпах и размерах. Из всего минерального топлива, сожженного за всю историю человечества, примерно половина была израсходована только за последнюю четверть века. В результате усиливающегося потребления горючих полезных ископаемых человечество стало выбрасывать в атмосферу огромные количества углекислого газа. Поступление углекислого газа в атмосферу в результате антропогенной деятельности иллюстрирует табл. 4.3.

Таким образом, при сжигании топлива в атмосферу ежегодно поступает, по неполным данным, около $(2-3) \cdot 10^{16}$ г углекислого газа. К этой величине необходимо добавить антропогенные выбросы CO_2 в процессе производства цемента, когда осуществляется перевод известняков и мергелей в оксид кальция:



Во время производства цемента в атмосферу выбрасывается ежегодно около $(1,5-2,5) \cdot 10^{15}$ г углекислого газа, ежегодное сжигание отходов сельскохозяйственного производства составляет около $(2,5-3) \cdot 10^{15}$ г CO_2 . Кроме того, в атмосферу попадает довольно большое количество углекислого газа в результате вулка-

Таблица 4.3

Мировая добыча горючего сырья и поступление углекислого газа в результате сжигания минерального топлива

Вид сырья	Мировая добыча сырья по годам			Количество CO_2 , выделяемое при сжигании, г		
	1960	1985	1995	1960	1985	1995
Нефть, млн т	1053	2664	3665	$0,5 \cdot 10^{15}$	$3,2 \cdot 10^{15}$	$4,8 \cdot 10^{15}$
Газ, млн м ³	453	1614	4825	$1,26 \cdot 10^{15}$	$4,48 \cdot 10^{15}$	$5,83 \cdot 10^{15}$
Уголь, млн т	2574	4273	3745	$6,96 \cdot 10^{15}$	$1,1 \cdot 10^{15}$	$8,4 \cdot 10^{15}$
Горючие сланцы, млн т	750	650	320	$1,8 \cdot 10^{15}$	$1,1 \cdot 10^{15}$	$0,5 \cdot 10^{15}$
Дрова, млн м ³	950	750	650	$3,2 \cdot 10^{15}$	$2,8 \cdot 10^{15}$	$1,4 \cdot 10^{15}$

ических извержений, разложения органических веществ, лесных пожаров, процессов дыхания человека и животных.

Полное отсутствие минерально-сырьевых запасов топлива в этих странах и слабая обеспеченность минеральными ресурсами других, а также слабая гидроресурсная база привели к тому, что в отсутствие источника энергии все шире стали использовать атомную энергию. Рост количества атомных электростанций наряду с опасностью аварий породил множество экологических проблем, и главная из них связана с захоронением радиоактивных отходов (табл. 4.4).

В настоящее время из верхней части земной коры ежегодно извлекается более 100 млрд т минерального топлива. С одной стороны, это приводит к крупномасштабному перемещению огромных масс горных пород и уничтожению плодородной почвы, резкому сокращению площади лесов, а с другой — усиливает загрязнение поверхностных и подземных вод и атмосферного воздуха.

Одним из главных социально-экономических факторов, воздействующих на окружающую среду как в позитивном, так и в негативном отношении, является научно-техническая революция. В ряде случаев она сыграла определяющую роль в формировании глобального кризиса, например в изменении уровня Мирового океана, состава и качества атмосферного воздуха, глобального климата, а также в утонении озонового экрана. Широкое использование новых и новейших технологий в ряде других случаев повлекло за собой возникновение разнообразных региональных экологических проблем. Так, если в XVIII в. человечеством использовалось только 18 химических элементов и соединений, то в XIX в. их число увеличилось до 35, в начале XX столетия уже использовалось 65, в середине — 85, а на рубеже XX и XXI вв. в науке и промышленности использовались все элементы Периодической системы Д. И. Менделеева. В связи с возросшими потребностями человечества из земных недр стали во все возрастающих размерах извлекать полезные ископаемые. Возникла реальная угроза истощения запасов минерального сырья. Согласно сделанным прогнозам, запасы целого ряда полезных ископаемых реально иссякнут к

Таблица 4.4

Доля разных источников энергии (в %) в общем балансе современной энергетики

Год	Уголь	Нефть	Газ	АЭС
1966	40	37	17	6
1990	30	42	18	10
2000	—	26-37	20	25

2050 г. Это касается запасов не только цинка и свинца, олова и молибдена, меди и так называемых редких металлов, но и некоторых видов горючих ископаемых.

По мере роста экономического потенциала увеличиваются объемы и номенклатура используемых минерально-сырьевых ресурсов. О темпах роста потребления свидетельствуют такие данные. Только за последние 40 лет использовано 80—85 % общего объема нефти, около половины запасов угля и железных руд, которые были добыты человечеством за всю его историю. За этот же период потребление различных металлов, минеральных удобрений и других видов полезных ископаемых увеличилось в 3—5 раз по сравнению с аналогичным предыдущим периодом.

Вторая половина XX в. ознаменовалась широким использованием редких и рассеянных элементов. Без этих металлов не могла развиваться электронная, электротехническая и микроэлектронные отрасли промышленности.

Развитые страны, в которых проживает 16 % населения земного шара, потребляют более половины добываемого в мире минерального сырья. При этом удельное потребление минерального сырья в данных странах в стоимостном выражении в расчете на одного жителя более чем в 8 раз превышает уровень потребления в развивающихся и в 4,3 раза больше, чем в других странах (Л. В. Оганесян, 1999). Аналогичная картина наблюдается и в отношении других видов минерального сырья.

Наряду с загрязнением окружающей среды в процессе добычи и обогащения минерального сырья наметилась большая угроза истощения воды и воздуха, и связана она с возросшей выработкой необходимой продукции. Для хозяйственной деятельности сегодня человечество использует около 15 % имеющейся на Земле пресной воды, причем учитывается объем только чистой воды, не загрязненной твердыми отходами, предприятиями и транспортом. Ежегодно в водоемы сбрасывается более 650 млрд т промышленных стоков, требующих нейтрализации и не менее чем 15-кратного разбавления. Определенные надежды человечество возлагает на запасы чистой воды, находящейся в ледниках. Однако, во-первых, в связи с развивающимся потеплением ледники стали интенсивно таять и, следовательно, запасы пресных вод могут резко сократиться, а во-вторых, поверхности многих высокогорных ледников и частично ледников Гренландии и льды Северного Ледовитого океана оказываются загрязненными различными веществами. Пыль самого различного происхождения и состава, загрязняющая ледники, доставляется мощными воздушными потоками с материков.

Тепловые электростанции и котельные, металлургическая, цементная, пищевая, машиностроительная и некоторые другие отрасли промышленности потребляют около 25 % кислорода, выра-

бываемого растениями. Объем растительной биомассы ежегодно уменьшается в связи с масштабными вырубками лесных массивов, поэтому количество кислорода в атмосфере начинает сокращаться. В некоторых регионах объемы кислорода в воздухе достигают критического уровня. Особенно это касается сильно урбанизированных территорий с мощными химическими и металлургическими производствами. Человечество стоит перед дилеммой: или сокращать объем промышленного производства, или найти источники возобновления ресурса кислорода. Если не сделать этого, то в самом ближайшем будущем для живых существ, в том числе для человека, в атмосфере останется менее 5 % кислорода, генерируемого флорой планеты. Как свидетельствуют геологические данные, количество атмосферного кислорода, достигнув 20—25 % содержания в атмосфере в начале фанерозоя, за всю последующую историю никогда не понижалось до критического уровня, т. е. никогда не становилось ниже 15—18 %. Это обеспечивало жизнь организмам и нормальное течение окислительно-восстановительных процессов на земной поверхности.

Осознавая, что в результате хозяйственной деятельности происходит во все возрастающих размерах ухудшение природной среды, международное сообщество принимает меры по частичному регулированию работы энергоемких производств и выработки тепловой энергии. Другое, более реальное решение заключается в разработке специальных технологий, в которых в качестве обогатителей атмосферным кислородом выступили бы некоторые организмы. Такими, в частности, могут быть колонии сине-зеленых водорослей. Ведь в далеком докембрии именно эти организмы дали возможность накопиться в атмосфере свободному кислороду.

Загрязнение географической оболочки и верхней части литосферы промышленными выбросами приводит к тому, что в биосфере начинают накапливаться токсичные вещества. Они проникают в ткани живых организмов и накапливаются в продуктах их жизнедеятельности. Как оказалось, концентрации токсичных веществ в растительных тканях высших растений, в составе вещества водорослей и в организме животных на несколько порядков превышают их содержание в почве, природных водах и атмосферном воздухе. В конечном итоге токсичные вещества поступают в сложные пищевые цепочки, связанные с человеком. Это не только негативно сказывается на продолжительности жизни людей, но и отражается на составе и жизнеспособности генов, благоприятствует развитию эпидемических заболеваний. Приводимые в табл. 4.5 сведения свидетельствуют о содержании тяжелых металлов в воде и живом веществе некоторых морских организмов в катастрофически высоких концентрациях.

Мощное антропогенное воздействие, выраженное в форме выбросов парниковых газов и разнообразных термодинамически ак-

Таблица 4.5

Содержание тяжелых металлов в морской воде и тканях морских организмов (мг/кг)

Морские организмы	Химический элемент	Содержание в морской воде	Содержание в организме	Коэффициент обогащения
Оболочники	Ванадий	0,002	560	280 000
Рыбы (кости)	Свинец	0,00003	700	20 000 000
То же	Цинк	0,01	10 000	100 000
»	Медь	0,03	3 000	1 000 000
Водоросли	Железо	0,1	1 000	100 000
»	Йод	0,06	50	30 000

тивных примесей, способствует нарушению теплового баланса приземных слоев атмосферы. Происходит так называемое тепловое заражение атмосферы Земли. Наряду с повышением содержания углекислого газа и паров воды, создающим в атмосфере высокий парниковый эффект, происходит выделение в огромных количествах техногенной теплоты. Все это в конечном итоге приводит к повышению температуры приземных слоев атмосферы.

Нагрузка на окружающую среду растет прогрессивно за счет истощения природных ресурсов и использования отсталых технологий добычи, обогащения и технологических линий переработки сырья. В таком случае экологическое равновесие заменяется так называемой «экологической нищетой», когда не хватает средств и возможностей использовать более совершенные ресурсосберегающие и экологически чистые технологии, и за счет «загрязнения изобилием», когда из земных недр сырье извлекается только частично, а из добытого и обогащенного сырья необходимые вещества извлекаются не полностью. И в том и другом случаях отходы оказываются обогащенными токсичными веществами.

Весьма своевременно и правильно отмечают ряд исследователей, что помимо роста численности населения и прогрессивного потребления природных ресурсов одним из отрицательных факторов, определяющих глобальные экологические изменения, является все возрастающий внешнеэкономический долг некоторых государств, который не позволяет модернизировать производства и совершенствовать технологию добычи и обогащения сырья.

Под экологическими функциями геосфер понимается их значение в сохранении и эволюции экосистем Земли. Выделяют самые разнообразные экологические функции педосферы, атмосферы, гидросферы, Мирового океана и литосферы. Кроме того, каждая из геосфер несет

определенную нагрузку, в той или иной мере участвуя в создании и функционировании геологических процессов. Экологическими функциями должны обладать и земная мантия, и ядро, и процессы, протекающие в них, которые в той или иной мере отражаются на экологических условиях земной поверхности и внешних геосфер. Кроме того, земная мантия и земное ядро являются источниками эндогенных геологических процессов. На экологическое состояние геосфер большое влияние оказывает рост численности населения Земли. Одним из важнейших примеров этого воздействия являются антропогенные изменения климата Земли и усиление радиационного фона.

Контрольные вопросы

1. Что означает термин «экологическая функция»?
2. Каковы экологические функции педосферы?
3. В чем заключаются экологические функции атмосферы?
4. Какую экологическую роль играет и какую нагрузку несет Мировой океан?
5. Каковы экологические функции литосферы?
6. Каковы геологическая роль и экологические функции мантии и земного ядра?
7. На чем основывается управление экологическими функциями?
8. В чем заключается влияние социально-экономических факторов на экологические функции геосфер?
9. Каковы положительные и отрицательные моменты в учении Мальтуса?
10. В чем заключается влияние численности населения на экологические функции геосфер?
11. На чем основывается отрицательная роль тепловой энергетики?
12. Каковы антропогенные выбросы диоксида углерода в атмосферу?

Литература

- Добровольский Г. В., Никитин Е. Д.* Функции почв в биосфере и экосистемах. — М., 1990.
- Залогин Б. С., Кузьминская К. С.* Экологические функции Мирового океана // Жизнь Земли. Землеведение и экология. — М., 1997.
- Киселев В. Н.* Основы экологии. — Минск, 2000.
- Никитин Е. Д.* Эффективность жизни и сохранение биосферы // Жизнь Земли. Землеведение и экология. — М., 1997.
- Экологические функции литосферы / Под ред. В. Т. Трофимова. — М., 2000.

ГЛАВА 5
**СОВРЕМЕННЫЕ КОНЦЕПЦИИ
 ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА,
 ОБЩЕСТВА И ПРИРОДЫ**

Сложные взаимоотношения человека и общества с окружающей средой сложились исторически. Если на заре человеческой цивилизации любые воздействия на природу компенсировались действиями мощнейших структур биосферы, то с течением времени антропогенные воздействия стали наносить большой ущерб. По данным Э.В. Гирусова (1976) и Е.Я. Режабека (1986), в истории взаимоотношений человека, природы и общества выделяются три основных этапа:

ручное производство с применением естественных источников энергии;

машинное производство с применением искусственных источников энергии;

автоматизированное производство с применением искусственных способов переработки и использования информации.

Первый этап связан с так называемой «неолитической революцией», в ходе которой человечество научилось использовать огонь и орудия воздействия на природу, позволившие менять среду обитания. Этот период длился около 5 тысяч лет. В это время осуществлялся постепенный переход от присваивающего хозяйства (собирательство и охота) к производящему (земледелие и скотоводство). История цивилизаций изобилует экологическими кризисами и революциями (рис. 5.1).

Переход к приготовлению пищи, производству одежды и строительству культовых и жилых помещений с применением искусственных орудий труда был очень длительным. Он дал возможность человечеству изменить свое социальное положение. В это время были созданы сравнительно несложные механические приспособления, приводимые в движение физической силой людей, домашними животными, ветряными и водяными двигателями. Тем не менее, несмотря на определенную примитивность техники, в это время были созданы крупнейшие сооружения такие, как египетские пирамиды, античные дворцы и храмы. Потребность в большом количестве энергии реализовывалась в основном путем использования армии рабов и в меньшей степени разнообразными механическими приспособлениями. Необходимость освоения новых площадей



Рис. 5.1. Экологические кризисы и революции в истории цивилизаций

под земледелие и скотоводство приводила к необходимости широкомасштабной и интенсивной вырубке лесных массивов и использованию подсеčno-огневого способа земледелия. Вырубка лесов в областях переменного-влажного тропического и субтропического климата — областей, наиболее благоприятных для проживания человека, — вызвала быстрое опустынивание территорий. С этим периодом связано возникновение и расширение ирригационных работ.

Второй этап взаимодействия человека и природы связан с промышленной революцией XVIII—XIX вв. и характеризуется переходом к машинному производству с применением техники искусственных энергоносителей (пар, затем электроэнергия). Благодаря этому интенсивно развивались металлургия, фабричное производство, механический транспорт. Расширение площадей под земледелие и скотоводство, вызванное ростом народонаселения, также сопровождалось опустыниванием одних территорий и освоением новых. Развитие горного дела и металлургии связано с интенсивными рубками лесных массивов (лес расходовался на производство древесного угля, использовался в качестве крепежного и строительного материала). В дальнейшем древесный уголь был заменен

на каменный, и это вновь потребовало расширения горнодобывающей промышленности. Спустя некоторое время для получения тепловой энергии стали использовать каменный уголь, а затем жидкие горючие ископаемые. Таким образом, в этот период в отношении природы человечеством был совершен новый качественный переход от «эксплуатации» только ее поверхности к «эксплуатации» недр Земли в значительных масштабах (С. В. Клубов, Л. Л. Прозоров, 1993).

Третий этап, начавшийся в первой четверти XX в., связан с современной научно-технической революцией. Он характеризуется преобразованием производительных сил на основе превращения науки в ведущий фактор развития производства. Это не только развитие атомной энергетики и атомной промышленности, но и поиск нетрадиционных источников энергии, развитие химической промышленности, в том числе производство полимеров, композиционных и иных материалов с заданными свойствами, известными в природе, комплексная автоматизация производства, широкое применение информационно-вычислительной и микропроцессорной техники, использование широкого спектра электронных устройств, создание новых видов транспорта и связи, освоение новой лазерной, плазменной и мембранной технологий, развитие биотехнологии, широкое использование Космоса в интересах производства, связи, целенаправленный поиск месторождений полезных ископаемых и разработка комплекса мер по охране окружающей среды.

В конце XX в. многие традиционные ресурсы человеческого прогресса утратили свое первостепенное значение. Главным ресурсом научно-технического прогресса и социально-экономического развития мирового сообщества становится информация. Хорошо налаженная сеть информационно-вычислительных систем и компьютеров сегодня играет такую же роль, какую в свое время сыграли электрификация, телефонизация, радио и телевидение. Информация не только влияет на ускорение развития науки и техники, но и играет огромную роль в процессах обеспечения общественного порядка, культурного общения людей и охраны окружающей среды. Информация — это неисчерпаемый ресурс мирового сообщества. Согласно И. И. Юзвину (1996), информация — всеобщий бесконечный законопроцесс фундаментальных отношений, связей, взаимодействий и взаимозависимостей энергии, движения, массы, микро- и макроструктур Вселенной. Необходимость в обработке резко возросших информационных потоков выявила определенные ограничения возможностей человеческой психики. Они стали преодолеваются в результате изобретения и широкого применения электронных кибернетических устройств (компьютеров).

На каждом этапе взаимодействия с природой человечество во все возрастающих размерах использовало ее как объект добычи и

приобретения материальных ценностей и удовлетворения своих материальных потребностей. Разногласия между природой и человеком, или, как принято называть эти конфликты, экологические кризисы, начались задолго до неолитической революции. Причиной возникновения одного из первых в истории человечества экологических кризисов послужила неразумная деятельность первобытного человека, которая вызвала ускоренное вымирание и исчезновение многих крупных млекопитающих позднего палеолита. Мамонты, мастодонты, бизоны, овцебыки и другие крупные животные были в то время главным объектом охоты (И. П. Герасимов, 1985; М. И. Будыко, 1977). В последующие годы уничтожение животных и вырубка лесных массивов происходили во все возрастающих размерах. Это не только обширная и красиво обставленная охота ассирийских царей на слонов, медведей, кабанов и страусов в бассейне р. Евфрат, но и также многочисленные, часто масштабные охоты на крупных млекопитающих, вырубка лесов на склонах гор в странах Средиземноморья (Греция, Италия). Начиная с 1600 г. до настоящего время человеком истреблено более 160 видов и подвидов птиц, и еще 400 видам угрожает полное исчезновение. Уничтожено более 100 видов млекопитающих, и еще 225 видам также грозит полное исчезновение (С. В. Клубов, Л. Л. Прозоров, 1993).

Первобытный человек обладал орудием огромной уничтожающей силы — огнем. Классическим примером истребления лесов и возникновения пустынных ландшафтов является пустыня Сахара. Одной из причин гибели государства Майя в Новом Свете считалось истощение земель в результате применения подсеčno-огневой системы земледелия. Земледелие речных цивилизаций повлекло за собой глубокое видоизменение ландшафтов. Уже в начале V тысячелетия до н. э. в Месопотамии стали проводиться ирригационные и мелиоративные работы. В III тысячелетии до н. э. аналогичные работы проводились в Китае и Индии, во II и I тысячелетиях до н. э. — в долине Амударьи. Это привело к тому, что развивавшееся земледелие ухудшало состояние природных ландшафтов. Античные цивилизации опустошили природные ресурсы Средиземноморья, а крупнейшие античные войны и крушение великих империй способствовали деградации почвенного покрова и развитию эрозии. По свидетельству некоторых экологов, только по вине человека на земном шаре в общей сложности было потеряно около 5 млн км² культурных земель.

Деградация природной среды усилилась в глубокой древности с возникновением, дальнейшим развитием и усовершенствованием горного дела. Уже в VII веке до н. э. в Греции стали разрабатывать свинцово-серебряные рудники, причем глубина некоторых шахт нередко достигала 100 м. Поражает масштабность горных работ, произведенных на заре палеолита. Они располагаются на территории Нидерландов. В толщах меловых пород имеются вклю-

чения разнообразных по форме и размерам кремниевых конкреций. Именно они служили объектом добычи. Рядом с первобытными шахтами добытые кремниевые конкреции расщепляли и из них изготавливали кремниевые орудия труда и оружие. В своеобразных первобытных мастерских было обнаружено более 500 тыс. заготовок каменных топоров. Все это свидетельствует о том, что в раннем палеолите велись целенаправленные поиски и добыча определенного вида каменного сырья. Скорее всего добыча каменного сырья на первобытной шахте производилась не одно столетие. С XIII в. в Европе, а затем и в других странах для проходки горных выработок стали применять порох. А это ускорило деградацию природной среды в местах добычи. С одной стороны, отходы от добычи и переработки да и сам порох загрязняли ручьи и реки, а с другой — вокруг мест добычи росли отвалы пустых пород.

Однако кроме негативных воздействий на природную среду имеются и положительные стороны развития горного дела. Большой толчок для развития металлургии дал повсеместный переход от использования древесного угля к применению каменного. Разработки угольных месторождений в XVII в. в Англии поистине спасли многие лесные массивы от полной вырубki. Но крупнейшие по площади открытые карьеры угольных месторождений стали во все возрастающих размерах наносить большой ущерб ландшафтам и подземным водам.

Исторически так сложилось, что до сих пор сосуществуют и противостоят друг другу различные представления о взаимоотношении человека и общества с окружающей средой. Это концепции природоохранной деятельности, технократического оптимизма, экологического алармизма и паритета между природой и обществом (С. В. Клубов, Л. Л. Прозоров, 1993).

Природоохранная концепция. Наблюдающееся ухудшение природной среды и, как следствие, ухудшение материального состояния человеческого общества требовали определенных противодействий. На плохое состояние природной среды, особенно лесных массивов, обратил внимание еще Петр I, который издал специальный указ об охране лесов. В самом конце XIX в. в России стала реализовываться идея защиты территорий дикой природы. Начали создаваться первые заповедники и заповедные территории. Уже в начале XX в. в России были предприняты попытки наладить «мировую охрану природы». При Русском географическом обществе была создана специальная так называемая Природоохранительная комиссия. Природоохранное движение возникло и в связи с тревогой научной общественности о судьбах диких животных и растений. Во главе этого движения стоял географ, антрополог, этнограф и археолог профессор Московского университета Д. Н. Анучин (1843—1923). Он понимал всю сложность взаимоотношения человека и природы, с научной точки зрения обосновал это новое

направление и ввел в научный оборот термин «антропосфера». Большую роль в сохранении природы сыграли исследования, которые проводились под эгидой КЕПС (Комиссии естественных производительных сил).

В последние десятилетия XX в. противостояние и столкновения между природой и обществом стали настолько сильными, а урон, наносимый природе, настолько огромным, что и в современном обществе развернулось широкое экологическое движение. Оно, как и движение в начале XX в., ставит своей целью сохранить природу, уберечь ее от пагубного воздействия человека, техническая оснащенность которого с каждым годом увеличивается. Ярким представителем этого направления является американский ученый и убежденный оптимист Р. Дюбо. По его мнению, путь к ликвидации противоречий между человеком и природой состоит в определенном «одомашнивании» биосферы. Речь идет о сохранении природных ландшафтов в их первоначальном состоянии и обеспечении жизнедеятельности всех систем биосферы только возобновляемыми ресурсами.

Реальные успехи движения за сохранение природы сводятся к разработке и применению разрозненных мероприятий по охране исчезающих видов животных и растений, превращению определенных территорий в заповедники, к сокращению вредных выбросов и отдельных загрязнений. Речь в данном случае идет об образовании заповедников и особо охраняемых территорий, которые сегодня занимают только несколько процентов земель. Но до сих пор отсутствуют системные и глобальные мероприятия, хотя разрабатываются многочисленные программы по защите или отдельных территорий, или даже отдельных частей геосфер. К их числу относятся мероприятия по предотвращению выбросов хлор- и фторсодержащих элементов (фреонов), снижению выбросов углекислого газа и целый ряд других мероприятий, связанных с выбросами антропогенных газов в атмосферу и загрязнениями водных систем.

Концепция технократического оптимизма. В основе этой концепции лежит представление о неисчерпаемости природных ресурсов, их возобновляемости и полном господстве человека над природой. Несмотря на полную очевидность негативных последствий научно-технического прогресса, когда на глазах одного-двух поколений антропогенная деградация экосистем достигла огромных масштабов и периодически перерастает из локальных кризисов в межрегиональные катастрофы, эта концепция пользуется большой популярностью. Ухудшение экологической обстановки все разрушительнее действует на огромных территориях и отражается на жизнедеятельности многочисленных экосистем. Исходя из этого часть научной общественности разных стран, осознав необходимость и неизбежность прогрессирующего использования природы

во имя процветания человека, обосновала свое положительное отношение к нему.

В течение нескольких десятилетий в советской науке господствовала идея о прямом использовании природных ресурсов на благо населения. Эта идея была ориентирована на теоретическое обоснование и осуществление разработанного перспективного плана преобразования природы. Частичное осуществление данного плана вызвало локальные и региональные экологические кризисы. Примерами такого негативного преобразования являются не только проекты «регулирования стока северных и сибирских рек» путем строительства в их долинах каскада электростанций и систем крупнейших водохранилищ, но и проект переброски части стока северных рек на юг, строительство плотин и крупных водохранилищ в низовьях крупнейших сибирских рек, в частности в низовьях Оби и Енисея, которые по площади затопления намного превосходили площади любых европейских государств, и другие подобные проекты.

В то же время надо отметить и некоторые положительные стороны этого плана. Так, в планах покорения природы речь идет и о создании систем лесозащитных полос на юге европейской части России, благодаря которым удалось спасти урожай от действия суховея, предотвратить масштабную эрозию почв, осуществить некоторые мелиоративные работы и т. д.

Идеи преобразования природы были распропагандированы настолько широко, что даже один из зачинателей природоохранного движения в нашей стране А. Д. Арманд поддался их соблазну и стал пропагандировать идеи «конструктивного преобразования природы». Он считал возможным и даже необходимым глобальное изменение природных ландшафтов во имя блага человечества. На Земле, по его мнению, не должно быть неиспользованных территорий. Преобладающая часть, или около 90 % земной поверхности, должна использоваться для производственных нужд человека. Примерно 9 % необходимо отвести под рекреации, создав в них обстановку, приближающуюся к естественной. И только 1 % надо оставить под заповедники и национальные парки.

Технократические взгляды на преобразование природы и взаимодействие природы, общества и человека свойственны в основном американским ученым. Они преклоняются перед могуществом техники и подводят теоретическую базу под это.

По мнению американского ученого Д. Эллула (1974), техника подчиняется собственным законам, существуют технологические законы и закономерности, которые глубоко отличаются от природных.

Для осуществления концепции технократического оптимизма вместо прежнего подхода с лозунгом о «покорении природы» стали раздаваться новые призывы к ее преобразованию и управлению

ю, которые способны привести к облагораживанию окружающей среды. И. Р. Пригожин и И. Стенгерс (1986) генезис и содержание такого технооптимизма раскрывают следующим образом: «К лейтмотиву мира, переставшего вызывать благоговейное поклонение, примешивается отзвук другого лейтмотива — господства над окружающим миром. Миром, перед которым не испытываешь благоговения, управлять легче. Любая наука об окружающем мире действует по единому теоретическому плану и низводит неисчерпаемое богатство и разнообразие явлений природы к унылому однообразию приложения общих законов, тем самым становится инструментом доминирования, а человек, чуждый окружающему миру, выступает хозяином этого мира».

Фактическое следование концепции технократического оптимизма привело к разработке и частичной реализации таких глобальных проектов, как освоение газовых месторождений на Ямале, разработка нефтяных месторождений на шельфе Баренцева моря и сахалинском шельфе, освоение крупнейших нефтяных месторождений Западной Сибири, железорудных месторождений Северного Казахстана и юга Западной Сибири, а также к разработке гигантских месторождений Курской магнитной аномалии, к строительству целлюлозно-бумажных комбинатов на Байкале и Ангаре и др.

Концепция экологического алармизма. Связанный с научно-технической революцией экологический кризис XX в. оказался настолько сильно выраженным, что в западных странах появилось научное направление, сторонники которого обратили серьезное внимание на катастрофические последствия воздействия человека на природу и стали разрабатывать мероприятия и принимать решения для оптимизации системы «природа — общество». Это течение получило название алармизма (от англ. alarm — тревога, страх).

На волне алармизма в 1968 г. группа ученых, промышленников и политических деятелей из 25 стран (на начальном этапе их было 25 человек) по инициативе управляющего фирмы «Фиат» Аулеро Печчеи образовало сообщество, получившее название «Римский клуб». Это сообщество взяло на себя задачу исследовать глобальные кризисные процессы и наметить пути выхода из них независимо от интересов конкретных государств. По заданиям Римского клуба работали группы, в которые входили крупнейшие ученые мира. Группа, состоящая из специалистов по кибернетике, естественным и инженерным наукам Массачусетского технологического института под руководством Денниса и Донеллы Медоуз, с 1971 по 1981 г. подготовила серию докладов по наиболее острым экологическим проблемам. Наиболее известными из них являются доклад супругов Медоуз «Пределы роста» (1972) и работа кибернетиков А. Массаровича (США) и Д. Пестеля (ФРГ) «Человечество на перепутье». В 1982 г. супруги Медоуз сделали обобщение по

проведенным моделям, в которых обсчитывались математические модели и имитации физических и социально-экономических систем мира. В этом обобщении основные положения сводились к следующему:

технологический прогресс жизненно важен, но требует при этом социально-экономических и политических изменений;

народонаселение и ресурсы как отдельных стран, так и всего мира не могут расти беспредельно;

надежная и полная информация о жизненно необходимых ресурсах Земли, способных удовлетворить потребности растущего населения, отсутствует. Резкое снижение роста этих ресурсов уменьшит вероятность экологических бедствий и катастроф;

народы, страны и окружающая среда находятся в более тесной зависимости друг от друга, чем это обычно представляется. Поэтому действия, направленные на достижение узко ограниченных целей, чаще всего непродуктивны;

природа будущего не предопределена; многое зависит от того, как скоро изменятся существующие нежелательные тенденции;

действия по предотвращению опасных последствий окажутся наиболее эффективными и менее дорогостоящими, чем те же действия, предпринятые с опозданием. Это требует сильного руководства и более широкой макрообразованности, поскольку к тому времени, когда проблема станет очевидной каждому, предпринимать какие-либо действия будет уже слишком поздно.

Исследования супругов Медуз допускают один из трех возможных сценариев развития.

1. В случае истощения природных ресурсов неизбежно замедление промышленного и сельскохозяйственного производств с последующим падением численности населения Земли и возникновением экологической катастрофы.

2. Организация достаточно эффективной защиты природной среды обеспечит еще более форсированный рост народонаселения, вызовет нехватку пахотных земель и экологический кризис.

3. При практически неограниченных природных ресурсах с неизбежностью прогнозируется гибель цивилизации от загрязнения.

Несмотря на то что прогнозы не являются оптимистическими, Римским клубом давались по крайней мере две важнейшие рекомендации: стабилизировать рост народонаселения и развить современное экологически чистое производство. Их выполнение сможет по мере возможности отдалить, а возможно даже и предотвратить катастрофу. Игнорирование рекомендаций Римского клуба привело к региональным и локальным экологическим катастрофам. Среди них авария на Чернобыльской АЭС, продолжающееся захоронение отходов промышленного производства, в том числе и высоко радиоактивных, в глубоких горизонтах земных недр, захо-

рнение радиоактивных отходов и химического оружия в водах Мирового океана.

В 1992 г. Д. Медуз с соавторами опубликовали работу «За пределами роста», в которой были изложены результаты исследований, проводимых в течение 20 лет. В этой работе авторы сформулировали очевидные вопросы: «Сколько людей может быть обеспечено питанием и жильем на нашей планете? При каком уровне материального потребления? Как долго? Насколько напряжена физическая система, поддерживающая человечество вместе с его экологической и другие биологические виды? Насколько эластична эта поддержка, от скольких и какого рода стрессов она может уберечь?»

Многочисленные эксперименты с компьютерными моделями развития мира убедительно показали, что в условиях непрерывного роста всех его показателей обязательно достигаются пределы. Если же отдалить один предел и продолжать рост, то неизбежно столкновение с другим пределом. Чем успешнее общество отодвигает пределы, используя экономические механизмы (свободный рынок) и новейшие технологии, тем больше вероятность достигнуть в будущем одновременно нескольких пределов. Авторы книги «За пределами роста» подчеркивают, что для лучшего будущего необходимы новые представления о мире и новые взаимоотношения среди людей, нужно изменить принципы и нормы, которые считаются неприкосновенными, способствовать становлению новой системы ценностей. Надо исходить из того, что мир ожидает не заранее предопределенное будущее, а выбор модели. Авторы считают, что существуют по крайней мере три модели для выбора.

Одна модель свидетельствует о том, что для всех практических целей этот конечный мир не имеет пределов. Но, оказавшись за его пределами, нам не удастся избежать катастрофы.

Другая модель утверждает, что пределы существуют и они близки, а времени почти не осталось. Если люди не смогут умирить свои запросы, стать ответственными и испытывать сострадание, может наступить катастрофа.

Согласно третьей модели, пределы существуют и они близки. Однако в запасе еще имеется время, и если люди не перестанут его попусту тратить, то мир успеет улучшиться, так как окружающая среда способна к восстановлению. Это означает, что у человечества еще сохраняется ровно столько энергии, материальных ресурсов, денег, добродетелей, чтобы мог произойти революционный переход к лучшему миру.

Концепция паритета между природой и обществом. Эта концепция в настоящее время находится в стадии разработки и ее нередко называют концепцией *устойчивого развития*. Впервые призыв к устойчивому развитию был сформулирован на конференции по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Един-

ство природы и человека неоднократно отражалось научными работками начиная с XVIII в., а в настоящее время это многократно подтверждается практикой. Французский зоолог Ж. Дорст (1968) писал: «Симптоматично, что человечество расходует все больше и больше энергии и средств на защиту от последствий своей же собственной деятельности, в сущности защищаясь от самого себя. Иной раз кажется, что мы живем в абсурдном мире, иначе мы бы не обратили против себя некоторые законы природы». Ж. Дорст неоднократно обращал внимание на необходимость охраны ландшафтов для обеспечения гармоничного фона жизни. Для решения проблемы надо преодолеть постоянный антагонизм между «охранителями природы» и «экономистами». Первые должны, по его мнению, смириться с тем, что для своего жизнеобеспечения человеку необходимо вести интенсивное земледелие, длительное время и глубоко преобразовывать некоторые естественные среды.

Поборникам технической цивилизации следует признать, что человек не может не считаться с биологическими законами и что рациональная эксплуатация природных ресурсов не должна преследовать цель их расхищения. По мнению Ж. Дорста, только достигнув истинного взаимоотношения между экономистами и биологами, можно прийти к здравому решению проблемы и обеспечить рациональное развитие человечества в полной гармонии с законами природы.

Сторонники гармоничного развития природы и общества считают совершенно недостаточным и в корне ошибочным мнение сторонников концепции технократического оптимизма о том, что только одного процента нетронутой заповедной территории Земли вполне достаточно для существования человечества. Основатель Римского клуба А. Печей предлагает территорию земной поверхности разделить в следующей пропорции: 80 % оставить на долю природы, 10 % — на сельское хозяйство и 10 % — на долю урбанизированных промышленных комплексов. Среди других предложений большую поддержку находит мнение разделить всю поверхность Земли на три равные части. Одну оставить за природой, другую — за сельским хозяйством и остальную отдать урбанизированным территориям — промышленным комплексам и населенным пунктам.

В настоящее время в перечне основных экологических проблем доминирующей как в глобальном, так и в региональном плане остается проблема загрязнения. Это не только загрязнение воздушной и водной среды, но и изменения глобального и регионального климата, истощение озонового слоя.

В 1991 г. была опубликована книга «Сохранение Земли. Стратегия устойчивой жизни», в подготовке которой принимали участие более 300 представителей разных стран со всех континентов. В дан-

ной работе предлагается оригинальное определение понятия «устойчивое развитие». Это — «улучшение качества жизни людей, проживающих в пределах несущей емкости поддерживающих экосистем. Устойчивая экономика — продукт устойчивого развития, она поддерживается ресурсной базой и развивается путем адаптации и через развитие знания, организацию, техническую эффективность и мудрость».

В заключение отметим, что в последней четверти XX в. мировое научное сообщество все большее внимание обращает на такие проблемы, как разрушение экосистем, выявление их роли в биосфере, приходит к осознанию необходимости сохранения биоразнообразия экосистем, рассматривает проблемы пределов роста и устойчивого развития, синэргически изучает биосферу и геосферу Земли в целом как системы и одновременно в их взаимной связи и действии. Указывает на необходимость смены взглядов на разумность и осторожность действий по отношению к природе, а также рассматривает существующие технологии только как один из элементов решения экологических проблем и устойчивого развития (К. С. Лосев, 2001).

Во взаимодействии человека с природой выделяют три неравномерных этапа: этап ручного производства с применением естественных источников энергии, этап машинного производства с применением искусственных источников энергии и этап автоматизированного производства с применением искусственных способов получения и использования информации. Экологические кризисы начались с момента возникновения человеческой цивилизации и усиливались по мере возникновения и усиления мощи государств, развития промышленности и науки. В настоящее время существуют четыре группы концепций взаимодействия человека, природы и общества: природоохранная концепция, концепция технократического оптимизма, концепция экологического алармизма и концепция паритета между природой и обществом. Все концепции имеют как положительные, так и отрицательные стороны. Большую роль в природоохранной политике сыграли исследования Римского клуба и особенно серия докладов супругов Медоуз. Ими даны три сценария развития природной среды, каждый из которых заканчивается кризисной ситуацией, за которой может последовать катастрофическое развитие событий. В настоящее время все большее внимание привлекает концепция паритета между природой и обществом, которая иногда именуется «устойчивым развитием», хотя было бы правильнее назвать ее гармоничным развитием.

Контрольные вопросы

1. Какие этапы взаимодействия человека и природы выделяют в истории человеческого общества?
2. Когда произошла «неолитическая» революция и к чему она привела?

3. Чем характеризовалась «промышленная» революция?
4. Какие существуют группы концепций, отражающие взаимодействие человека, природы и общества?
5. В чем заключается суть природоохранной концепции?
6. Какую отрицательную роль сыграли масштабные преобразования природы на территории России?
7. Какие крупнейшие месторождения были освоены в процессе господства концепции технократического оптимизма?
8. Когда был основан Римский клуб и каковы его основные задачи?
9. В чем состоит суть сценариев развития природной среды, предложенных супругами Медоуз?
10. Каковы рекомендации Римского клуба?
11. Каковы три модели пределов роста развития мира?
12. В чем заключается устойчивость развития?
13. Кто относится к «охранителям» природы?
14. Кто относится к «экономистам» природы?

Литература

- Бахтеев М. К. Геоэкология. — Дубна, 1997.
- Клубов С. В., Прозоров Л. Л. Геоэкология: история, понятия, современное состояние. — М., 1993.
- Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой. — М., 1986.

ГЛАВА 6 ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ АТМОСФЕРЫ

6.1. Главные особенности атмосферы

Атмосфера (от греч. «атмос» — пар и «сфера» — шар) — это газовая оболочка, не имеющая четко выраженной верхней границы и существующая благодаря гравитационному притяжению Земли. Атмосферу называют голубой кровлей Земли. Хотя масса ее по сравнению с Землей ничтожно мала и составляет всего одну миллионную массы планеты, значение атмосферы для жизни на Земле огромно. Ее масса составляет $5,15 \cdot 10^{15}$ т. Состав у поверхности Земли следующий: азот — 78,1 %, кислород — 20,95 %, аргон — 0,93 % и в незначительных долях процента углекислый газ, водород, гелий, неон и другие газы. У земной поверхности содержание водяного пара меняется от 0,3 % в тропиках до $2 \cdot 10^{-5}$ % в Антарктиде. На высоте 20—25 км расположен слой озона, который и предохраняет живые организмы от коротковолнового (ультрафиолетового) солнечного излучения, пагубно воздействующего на живые организмы.

По резкой смене температур в атмосфере выделяют несколько слоев (сфер). Границы между ними носят название пауз (тропопауза, стратоплауза, мезопауза) (рис. 6.1). Каждый из слоев имеет специфические геофизические и геохимические свойства. Границы между сферами нерезкие и в зависимости от широты располагаются на разных высотах. В самом нижнем слое — *тропосфере* — температура по мере повышения высоты от земной поверхности падает до -55°C у полюса и -75°C у экватора. В ней сосредоточено $4/5$ всей массы атмосферы. Она богата азотом и кислородом, насыщена парами воды и углекислым газом. Здесь протекают важные погодные процессы и образуются облака. Температура в тропосфере падает с высотой в среднем на 6°C на каждый километр. Тропосфера простирается до высоты 12—15 км и отделяется от стратосферы *тропопаузой*.

В *стратосфере* происходит резкое повышение температуры, достигающее 0°C на высоте 55 км, где проходит *стратоплауза*. В стратосфере количество азота и кислорода уменьшается, а содержание водорода, гелия и других легких газов увеличивается. Между тропосферой и стратосферой располагается озоновый слой.

Следующий слой атмосферы — *мезосфера* — располагается в интервале 55—95 км над поверхностью Земли. В ней продолжается

падение температуры с увеличением высоты и достигает $-70, -80^{\circ}\text{C}$ в мезопаузе. В термосфере температура повышается, достигая на высоте 400 км 1200°C . Ее нередко называют ионосферой, так как молекулы газов ионизированы космическим излучением, т. е. лишены верхних электронов и поэтому обладают положительным зарядом. Как и любой ионизированный газ, воздух в термосфере хорошо проводит электричество. К тому же термосфера обладает замечательным свойством — отражает радиоволны, что делает возможной дальнюю связь на Земле.

Выше термосферы располагается экзосфера, представляющая собой переходную область между атмосферой и межпланетным пространством. Характерными ее особенностями являются преобладание газов в атомарном состоянии и очень малая плотность. Здесь наиболее легкие газы покидают атмосферу и рассеиваются в космическом пространстве.

Стратосфера в интервале от 15 до 55 км содержит озон. Максимум его концентрации отмечается на высотах 17—25 км. В озоновом слое содержится до 90 % общего количества атмосферного озона. Небольшая часть озона возникает в тропосфере во время грозы и

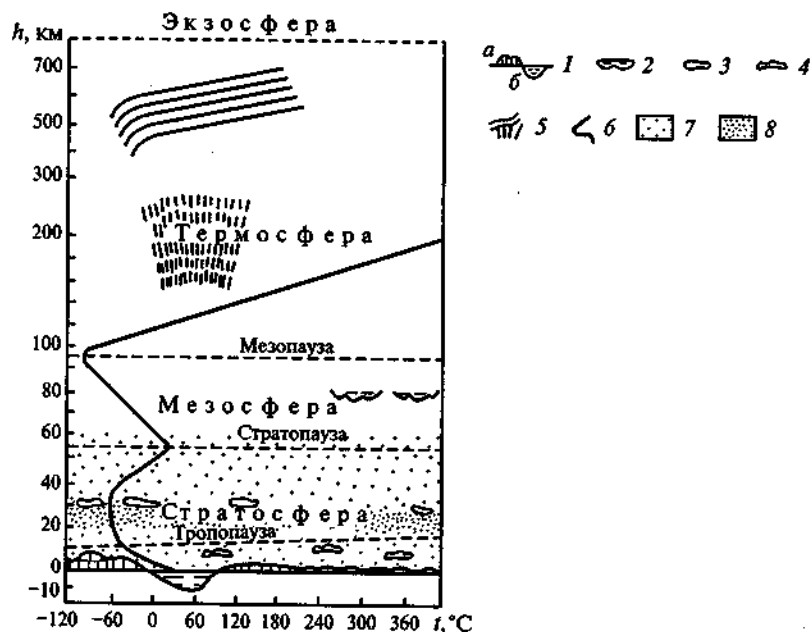


Рис. 6.1. Схематический разрез атмосферы:

1 — верхняя граница литосферы (а — суша, б — океан); 2 — серебристые облака; 3 — перламутровые облака; 4 — ярусы облачности в тропосфере; 5 — полярные сияния; 6 — температурная кривая; 7 — слой распространения озона; 8 — слой наибольшей концентрации озона (озоновый слой)

при электрических разрядах. Но довольно быстро озон в тропосфере разлагается и рассеивается.

В обычных условиях озон представляет собой газ с резким специфическим запахом. Это сильный яд, превосходящий по токсичности синильную кислоту. Он обладает мутагенными и канцерогенными свойствами, действует на кровь, а в смеси с кислородом чрезвычайно опасен. Его присутствие в значительных количествах в тропосфере представляет особую экологическую опасность. Он может возникать в результате фотохимических реакций в воздухе, загрязненном антропогенными примесями, и в первую очередь над крупными промышленными центрами.

Стратосферный озон из-за его выдающейся способности поглощать ультрафиолетовое излучение, губительное для живых организмов, стал настоящим защитным экраном нашей планеты. В стратосфере озон возникает под воздействием ультрафиолетовой солнечной радиации с длиной волны менее 240 нм, когда часть молекулярного кислорода распадается на атомы, которые затем пристраиваются к целым молекулам. На создание озонового слоя расходуется почти весь приток ультрафиолетовых лучей. Процесс взаимодействия одно-, двух- и трехатомного кислорода с учетом фотолиза был впервые рассмотрен английским физиком С.Чепменом в 1929 г. и получил название кислородного цикла, или цикла Чепмена.

В атмосфере установлены определенные закономерности в распределении озона по времени суток, широте местности и высоте. Как оказалось, концентрация озона возрастает во второй половине суток, максимальных значений достигает весной, а осенью падает до минимума. Максимум концентрации озона приходится на высоты 17—25 км.

Содержание углекислого газа в атмосфере способствует развитию так называемого парникового эффекта (рис. 6.2). Атмосфера пропускает сквозь себя солнечную радиацию, но идущие от земной поверхности тепловое и длинноволновое излучения она задерживает благодаря присутствию в ней углекислого газа. Чем больше в атмосфере содержится этого газа, тем выше парниковый эффект. Парниковым эффектом обладает и водяной пар. Хотя основная его масса находится в тропосфере и его проникновению в стратосферу препятствует тропопауза, являющаяся холодной ловушкой для водяного пара, тем не менее небольшая часть неконденсированных водяных паров проникает из тропосферы в стратосферу.

В последние годы была установлена значительная роль в создании парникового эффекта другого газа — метана (CH_4). Этот легкий горючий в кислородной атмосфере газ иногда называют болотным вследствие того, что он образуется в болотах в процессе гниения и преобразования органических остатков без доступа кис-

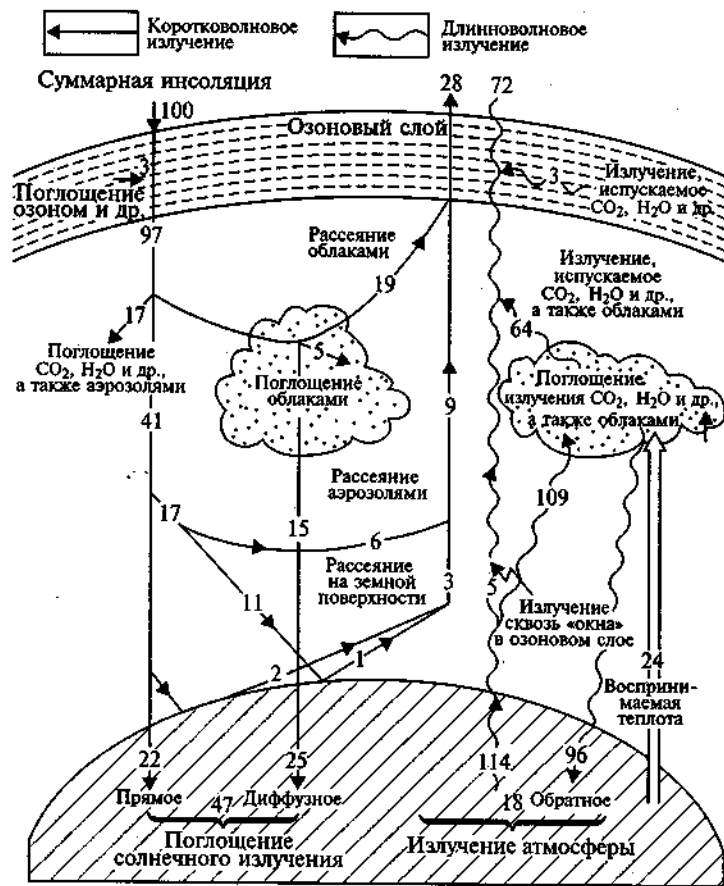


Рис. 6.2. Тепловой баланс «Земля — атмосфера» (в % от поступающей солнечной энергии)

лорода. Метан в атмосферу выделяется в результате природных процессов и антропогенной деятельности.

На высоте около 30 км располагаются области «перламутровых» облаков, состоящие из кристалликов льда с вмороженными в них частицами разнообразных соединений азота, хлора и углерода. Такие облака образуются как в результате разложения озона водородом ($O_3 + H_2 \rightarrow H_2O + O_2$), так и путем множества других реакций. У верхней границы мезосферы на высоте около 80 км образуются «серебристые» облака, представляющие собой скопления ледяных кристалликов.

Важнейшей особенностью атмосферы является присутствие в ней пылеватых частиц, которые влияют на прозрачность. Естественный природный источник поступления пыли в атмосферу — вул-

канические извержения и дефляция пустынных регионов. Кроме того, в результате вулканической деятельности в атмосферу наряду с углекислым газом и парами воды попадает сернистый газ. Окисляясь под воздействием солнечных лучей и реагируя с водяным паром, он образует аэрозоль серной кислоты.

6.2. Возникновение и эволюция атмосферы

Современная атмосфера представляет собой результат длительного эволюционного развития. Она возникла в результате совместных действий геологических факторов и жизнедеятельности организмов. В течение всей геологической истории земная атмосфера пережила несколько глубоких перестроек. На основе геологических данных и теоретических предпосылок первозданная атмосфера молодой Земли, существовавшая около 4 млрд лет тому назад, могла состоять из смеси инертных и благородных газов с небольшим добавлением пассивного азота (Н.А. Ясаманов, 1985; А.С. Монин, 1987; О.Г. Сорохтин, С.А. Ушаков, 1991, 1993). В настоящее время взгляд на состав и строение ранней атмосферы несколько изменился. Первичная атмосфера (протоатмосфера) на самой ранней протопланетной стадии, т.е. старше чем 4,2 млрд лет, могла состоять из смеси метана, аммиака и углекислого газа. В результате дегазации мантии и протекающих на земной поверхности активных процессов выветривания в атмосферу стали поступать пары воды, соединения углерода в виде CO₂ и CO, серы и ее соединений, а также сильных галогенных кислот — HCl, HF, HI и борной кислоты, которые дополнялись находившимися в атмосфере метаном, аммиаком, водородом, аргоном и некоторыми другими благородными газами. Эта первичная атмосфера была чрезвычайно богатой. Поэтому температура у земной поверхности была близкой к температуре лучистого равновесия (А.С. Монин, 1977).

С течением времени газовый состав первичной атмосферы под влиянием процессов выветривания горных пород, выступавших на земной поверхности, жизнедеятельности цианобактерий и синезеленых водорослей, вулканических процессов и действия солнечных лучей стал трансформироваться. Привело это к разложению метана на водород и углекислоту, аммиака — на азот и водород; в горючей атмосфере стали накапливаться углекислый газ, который медленно опускался к земной поверхности, и азот. Благодаря жизнедеятельности синезеленых водорослей в процессе фотосинтеза стал вырабатываться кислород, который, однако, в начале в основном расходовался на окисление атмосферных газов, а затем на окисление горных пород. При этом аммиак, окислившийся до молекулярного азота, стал интенсивно накапливаться в атмосфере. Как предполагается, значительная часть азота современной атмосферы

является реликтовой. Метан и оксид углерода окислялись до углекислоты. Сера и сероводород окислялись до SO_2 и SO_3 , которые вследствие своей высокой подвижности и легкости быстро удалились из атмосферы. Таким образом, атмосфера из восстановительной, какой она была в архее и раннем протерозое, постепенно превращалась в окислительную.

Углекислый газ поступал в атмосферу как вследствие окисления метана, так и в результате дегазации мантии и выветривания горных пород. В том случае, если бы весь углекислый газ, выделившийся за всю историю Земли, сохранился в атмосфере, его парциальное давление в настоящее время могло стать таким же, как на Венере (О. Сорохтин, С. А. Ушаков, 1991). Но на Земле действовал обратный процесс. Значительная часть углекислого газа из атмосферы растворялась в гидросфере, в которой он использовался гидробионтами для построения своей раковины и биогенным путем превращался в карбонаты. В дальнейшем из них были сформированы мощнейшие толщи хемогенных и органогенных карбонатов.

Кислород в атмосферу поступал из трех источников. В течение длительного времени, начиная с момента возникновения Земли, он выделялся в процессе дегазации мантии и в основном расходовался на окислительные процессы. Другим источником кислорода была фотодиссоциация паров воды жестким ультрафиолетовым солнечным излучением. Появление свободного кислорода в атмосфере привело к гибели большинства прокариот, которые обитали в восстановительных условиях. Прокариотные организмы сменили места своего обитания. Они ушли с поверхности Земли в ее глубины и области, где еще сохранялись восстановительные условия. Им на смену пришли эукариоты, которые стали энергично перерабатывать углекислоту в кислород.

В течение архея и значительной части протерозоя практически весь кислород, возникающий как абиогенным, так и биогенным путем, в основном расходовался на окисление железа и серы. Уже к концу протерозоя все металлическое двухвалентное железо, находившееся на земной поверхности или окислилось, или переместилось в земное ядро. Это привело к тому, что парциальное давление кислорода в раннепротерозойской атмосфере изменилось.

В середине протерозоя концентрация кислорода в атмосфере достигала точки Юри и составляла 0,01 % современного уровня. Начиная с этого времени кислород стал накапливаться в атмосфере и, вероятно, уже в конце рифея его содержание достигло точки Пастера (0,1 % современного уровня). Возможно, в вендском периоде возник озоновый слой и с этого времени уже никогда не исчезал.

Появление свободного кислорода в земной атмосфере стимулировало эволюцию жизни и привело к возникновению новых форм с более совершенным метаболизмом. Если ранее эукариотные од-

ноклеточные водоросли и цианеи, появившиеся в начале протерозоя, требовали содержания кислорода в воде всего 10^{-3} его современной концентрации, то с возникновением бесскелетных Metazoa в конце раннего венда, т. е. около 650 млн лет тому назад, концентрация кислорода в атмосфере должна была бы быть значительно выше. Ведь Metazoa использовали кислородное дыхание и для этого требовалось, чтобы парциальное давление кислорода достигло критического уровня — точки Пастера. В этом случае аналогичный процесс брожения сменился энергетически более перспективным и прогрессивным кислородным метаболизмом.

После этого дальнейшее накопление кислорода в земной атмосфере происходило довольно быстро. Прогрессивное увеличение объема синезеленых водорослей способствовало достижению в атмосфере необходимого для жизнеобеспечения животного мира уровня кислорода. Определенная стабилизация содержания кислорода в атмосфере произошла с того момента, когда растения вышли на сушу, — примерно 450 млн лет назад. Выход растений на сушу, происшедший в силурийском периоде, привел к окончательной стабилизации уровня кислорода в атмосфере. Начиная с этого времени его концентрация стала колебаться в довольно узких пределах, никогда не выходящих за рамки существования жизни. Полностью концентрация кислорода в атмосфере стабилизировалась со времени появления цветковых растений. Это событие произошло в середине мелового периода, т. е. около 100 млн лет тому назад.

Основная масса азота сформировалась на ранних стадиях развития Земли, главным образом за счет разложения аммиака. С появлением организмов начался процесс связывания атмосферного азота в органическое вещество и захоронения его в морских осадках. После выхода организмов на сушу азот стал захороняться и в континентальных осадках. Особенно усилились процессы переработки свободного азота с появлением наземных растений.

На рубеже криптозоя и фанерозоя, т. е. около 650 млн лет тому назад, содержание углекислого газа в атмосфере снизилось до десятых долей процентов, а содержания, близкого к современному уровню, он достиг лишь совсем недавно, примерно 10—20 млн лет тому назад.

Таким образом, газовый состав атмосферы не только предопределял организмам жизненное пространство, но и определял особенности их жизнедеятельности, способствовал расселению и эволюции. Возникающие сбои в распределении благоприятного для организмов газового состава атмосферы как из-за космических, так и планетарных причин приводили к массовым вымираниям органического мира, которые неоднократно происходили в течение криптозоя и на определенных рубежах фанерозойской истории.

6.3. Роль атмосферы в природных процессах

Приземная атмосфера в силу своего промежуточного состояния между литосферой и космическим пространством и своего газового состава создает условия для жизнедеятельности организмов (см. рис. 4.1). Вместе с тем от количества, характера и периодичности атмосферных осадков, от частоты и силы ветров и особенно от температуры воздуха зависят выветривание и интенсивность разрушения горных пород, перенос и аккумуляция обломочного материала. Атмосфера выступает центральным компонентом климатической системы. Температура и влажность воздуха, облачность и осадки, ветер — все это характеризует погоду, т. е. непрерывно меняющееся состояние атмосферы. Одновременно эти же компоненты характеризуют и климат, т. е. усредненный многолетний режим погоды.

Состав газов, наличие облачности и различных примесей, которые называются аэрозольными частицами (пепел, пыль, частички водяного пара), определяют особенности прохождения солнечной радиации сквозь атмосферу и препятствуют уходу теплового излучения Земли в космическое пространство.

Атмосфера очень подвижна. Возникающие в ней процессы и изменения ее газового состава, толщины, облачности, прозрачности и наличие в ней тех или иных аэрозольных частиц воздействуют как на погоду, так и на климат.

Действие и направленность природных процессов, а также жизнь и деятельность на Земле определяются солнечной радиацией. Она дает 99,98 % теплоты, поступающей на земную поверхность. Ежегодно это составляет $134 \cdot 10^{19}$ ккал. Такое количество теплоты можно получить при сжигании 200 млрд т каменного угля. Запасов водорода, создающего этот поток термоядерной энергии в массе Солнца, хватит, по крайней мере, еще на 10 млрд лет, т. е. на период в два раза больший, чем существуют само Солнце и наша планета.

Около 1/3 общего количества солнечной энергии, поступающей на верхнюю границу атмосферы, отражается обратно в мировое пространство, 13 % поглощается озоновым слоем (в том числе почти вся ультрафиолетовая радиация), 7 % — остальной атмосферой и лишь 44 % достигает земной поверхности (рис. 6.3) Суммарная солнечная радиация, достигающая Земли за сутки, равна энергии, которую человечество получило в результате сжигания всех видов топлива за последнее тысячелетие.

Количество и характер распределения солнечной радиации на земной поверхности находятся в тесной зависимости от облачности и прозрачности атмосферы. На величину рассеянной радиации влияют высота Солнца над горизонтом, прозрачность атмосферы, содержание в ней водяных паров, пыли, общее количество углекислоты и т. д.

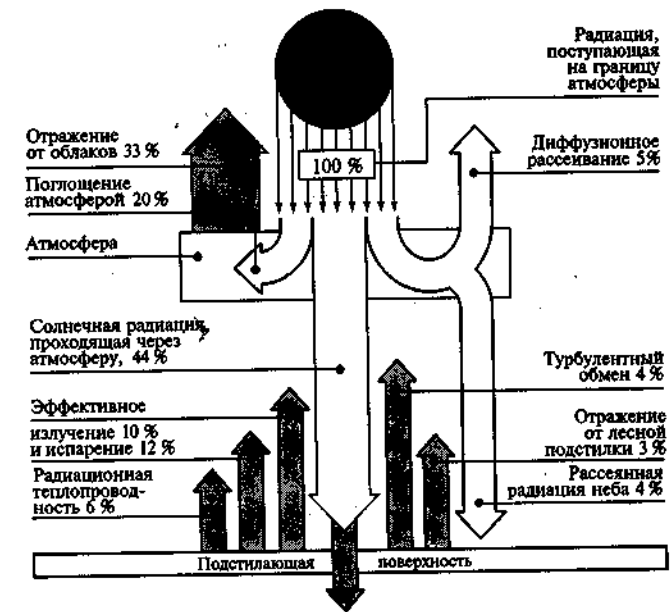


Рис. 6.3. Распределение солнечной радиации

Максимальное количество рассеянной радиации попадает в полярные районы. Чем ниже Солнце над горизонтом, тем меньше теплоты поступает на данный участок местности.

Большое значение имеют прозрачность атмосферы и облачность. В пасмурный летний день обычно холоднее, чем в ясный, так как дневная облачность препятствует нагреванию земной поверхности.

Большую роль в распределении теплоты играет запыленность атмосферы. Находящиеся в ней тонкодисперсные твердые частицы пыли и пепла, влияющие на ее прозрачность, отрицательно сказываются на распределении солнечной радиации, большая часть которой отражается. Тонкодисперсные частицы попадают в атмосферу двумя путями: это или пепел, выбрасываемый во время вулканических извержений, или пыль пустынь, переносимая ветрами из аридных тропических и субтропических областей. Особенно много такой пыли образуется в период засух, когда потоками теплого воздуха она выносится в верхние слои атмосферы и способна находиться там продолжительное время. После извержения вулкана Кракатау в 1883 г. пыль, выброшенная на десятки километров в атмосферу, находилась в стратосфере около 3 лет. В результате извержения в 1985 г. вулкана Эль-Чичон (Мексика) пыль достигла Европы, и поэтому произошло некоторое понижение приземных температур.

Атмосфера содержит переменное количество водяного пара. В абсолютном исчислении по массе или объему его количество составляет от 2 до 5 %.

Водяной пар, как и углекислота, усиливает парниковый эффект. В возникающих в атмосфере облаках и туманах протекают своеобразные физико-химические процессы.

Первоисточником водяного пара в атмосферу является поверхность Мирового океана. С него ежегодно испаряется слой воды толщиной от 95 до 110 см. Часть влаги возвращается в океан после конденсации, а другая воздушными потоками направляется в сторону материков. В областях переменного-влажного климата осадки увлажняют почву, а во влажных создают запасы грунтовых вод. Таким образом, атмосфера является аккумулятором влажности и резервуаром осадков. Облака и туманы, формирующиеся в атмосфере, обеспечивают влагой почвенный покров и тем самым играют определяющую роль в развитии животного и растительного мира.

Атмосферная влага распределяется по земной поверхности благодаря подвижности атмосферы. Ей присуща весьма сложная система ветров и распределения давления. В связи с тем что атмосфера находится в непрерывном движении, характер и масштабы распределения ветровых потоков и давления все время меняются. Масштабы циркуляции изменяются от микрометеорологических, размером всего в несколько сотен метров, до глобального — в несколько десятков тысяч километров. Огромные атмосферные вихри участвуют в создании систем крупномасштабных воздушных течений и определяют общую циркуляцию атмосферы. Кроме того, они являются источниками катастрофических атмосферных явлений.

От атмосферного давления зависит распределение погодных и климатических условий и функционирование живого вещества. В том случае, если атмосферное давление колеблется в небольших пределах, оно не играет решающей роли в самочувствии людей и поведении животных и не отражается на физиологических функциях растений. С изменением давления, как правило, связаны фронтальные явления и изменения погоды.

Фундаментальное значение имеет атмосферное давление для формирования ветра, который, являясь рельефообразующим фактором, сильнейшим образом воздействует на животный и растительный мир.

Ветер способен подавить рост растений и в то же время способствует переносу семян. Велика роль ветра в формировании погодных и климатических условий. Выступает он и в качестве регулятора морских течений. Ветер как один из экзогенных факторов способствует эрозии и дефляции выветрелого материала на большие расстояния.

6.4. Эколого-геологическая роль атмосферных процессов

Уменьшение прозрачности атмосферы за счет появления в ней аэрозольных частиц и твердой пыли влияет на распределение солнечной радиации, увеличивая альбедо или отражательную способность. К такому же результату приводят и разнообразные химические реакции, вызывающие разложение озона и генерацию «перлаутровых» облаков, состоящих из водяного пара. Глобальное изменение отражательной способности, так же как изменения газового состава атмосферы, главным образом парниковых газов, являются причиной климатических изменений.

Неравномерное нагревание, вызывающее различия в атмосферном давлении над разными участками земной поверхности, приводит к атмосферной циркуляции, которая является отличительной чертой тропосферы. При возникновении разности в давлении воздух устремляется из областей повышенного давления в область пониженных давлений. Эти перемещения воздушных масс вместе с влажностью и температурой определяют основные эколого-геологические особенности атмосферных процессов.

В зависимости от скорости ветер производит на земной поверхности различную геологическую работу. При скорости 10 м/с он качает толстые ветви деревьев, поднимает и переносит пыль и мелкий песок; со скоростью 20 м/с ломает ветви деревьев, переносит песок и гравий; со скоростью 30 м/с (буря) срывает крыши домов, вырывает с корнем деревья, ломает столбы, передвигает гальку и переносит мелкий щебень, а ураганный ветер со скоростью 40 м/с разрушает дома, ломает и сносит столбы линий электропередач, вырывает с корнем крупные деревья.

Большое негативное экологическое воздействие с катастрофическими последствиями оказывают *шквальные бури и смерчи (торнадо)* — атмосферные вихри, возникающие в теплое время года на мощных атмосферных фронтах, имеющие скорость до 100 м/с. Шквалы — это горизонтальные вихри с ураганной скоростью ветра (до 60—80 м/с). Они часто сопровождаются мощными ливнями и грозами продолжительностью от нескольких минут до получаса. Шквалы охватывают территории шириной до 50 км и проходят расстояние в 200—250 км. Шквальная буря в Москве и Подмосковье в 1998 г. повредила крыши многих домов и повалила деревья.

Смерчи, называемые в Северной Америке торнадо, представляют собой мощные воронкообразные атмосферные вихри, часто связанные с грозовыми облаками. Это суживающиеся в середине столбы воздуха диаметром от нескольких десятков до сотен метров. Смерч имеет вид воронки, очень похожей на хобот слона, спускающейся с облаков или поднимающейся с поверхности земли. Обладая сильной разреженностью и высокой скоростью вращения,

смерч проходит путь до нескольких сотен километров, втягивая в себя пыль, воду из водоемов и различные предметы. Мощные смерчи сопровождаются грозой, дождем и обладают большой разрушительной силой.

Смерчи редко возникают в приполярных или экваториальных областях, где постоянно холодно или жарко. Мало смерчей в открытом океане. Смерчи происходят в Европе, Японии, Австралии, США, а в России особенно часты в Центрально-Черноземном районе, в Московской, Ярославской, Нижегородской и Ивановской областях.

Смерчи поднимают и перемещают автомобили, дома, вагоны, мосты. Особенно разрушительные смерчи (торнадо) наблюдаются в США. Ежегодно отмечается от 450 до 1500 торнадо с числом жертв в среднем около 100 человек. Смерчи относятся к быстродействующим катастрофическим атмосферным процессам. Они формируются всего за 20—30 мин, а время их существования 30 мин. Поэтому предсказать время и место возникновения смерчей практически невозможно.

Другими разрушительными, но действующими продолжительное время атмосферными вихрями являются *циклоны*. Они образуются из-за перепада давления, которое в определенных условиях способствует возникновению кругового движения воздушных потоков. Атмосферные вихри зарождаются вокруг мощных восходящих потоков влажного теплого воздуха и с большой скоростью вращаются по часовой стрелке в южном полушарии и против часовой — в северном. Циклоны в отличие от смерчей зарождаются над океанами и производят свои разрушительные действия над материками. Основными разрушительными факторами являются сильные ветры, интенсивные осадки в виде снегопада, ливней, града и нагонные наводнения. Ветры со скоростями 19—30 м/с образуют бурю, 30—35 м/с — шторм, а более 35 м/с — ураган.

Тропические циклоны — *ураганы* и *тайфуны* — имеют среднюю ширину в несколько сот километров. Скорость ветра внутри циклона достигает ураганной силы. Длятся тропические циклоны от нескольких дней до нескольких недель, перемещаясь со скоростью от 50 до 200 км/ч. Циклоны средних широт имеют больший диаметр. Поперечные размеры их составляют от тысячи до нескольких тысяч километров, скорость ветра штормовая. Двигутся в северном полушарии с запада и сопровождаются градом и снегопадом, имеющими катастрофический характер. По числу жертв и наносимому ущербу циклоны и связанные с ними ураганы и тайфуны являются самыми крупными после наводнений атмосферными стихийными явлениями. В густонаселенных районах Азии число жертв во время ураганов измеряется тысячами. В 1991 г. в Бангладеш во время урагана, который вызвал образование морских волн высотой 6 м, погибло 125 тыс. человек. Большой ущерб наносят тайфу-

ны территории США. При этом гибнут десятки и сотни людей. В Западной Европе ураганы приносят меньший ущерб.

Катастрофическим атмосферным явлением считаются *грозы*. Они возникают при очень быстром поднятии теплого влажного воздуха. На границе тропического и субтропического поясов грозы происходят по 90—100 дней в году, в умеренном поясе по 10—30 дней. В нашей стране наибольшее количество гроз случается на Северном Кавказе.

Грозы обычно продолжаются менее часа. Особую опасность представляют интенсивные ливни, градобития, удары молнии, порывы ветра, вертикальные потоки воздуха. Опасность *градобития* определяется размерами градин. На Северном Кавказе масса градин однажды достигала 0,5 кг, а в Индии отмечены градины массой 1 кг. Наиболее градоопасные районы у нас в стране находятся на Северном Кавказе. В июле 1992 г. град повредил в аэропорту «Минеральные Воды» 18 самолетов.

К опасным атмосферным явлениям относятся *молнии*. Они убивают людей, скот, вызывают пожары, повреждают электросеть. От гроз и их последствий ежегодно в мире гибнет около 10 000 человек. Причем в некоторых районах Африки, во Франции и США число жертв от молний больше, чем от других стихийных явлений. Ежегодный экономический ущерб от гроз в США составляет не менее 700 млн долларов.

Засухи характерны для пустынных, степных и лесостепных регионов. Недостаток атмосферных осадков вызывает иссушение почвы, понижение уровня подземных вод и в водоемах до полного их высыхания. Дефицит влаги приводит к гибели растительности и посевов. Особенно сильными бывают засухи в Африке, на Ближнем и Среднем Востоке, в Центральной Азии и на юге Северной Америки.

Засухи изменяют условия жизнедеятельности человека, оказывают неблагоприятное воздействие на природную среду через такие процессы, как осолонение почвы, суховеи, пыльные бури, эрозия почвы и лесные пожары. Особенно сильными пожары бывают во время засухи в таежных районах, тропических и субтропических лесах и саваннах.

Засухи относятся к кратковременным процессам, которые продолжаются в течение одного сезона. В том случае, когда засухи длятся более двух сезонов, возникает угроза голода и массовой смертности. Обычно действие засухи распространяется на территорию одной или нескольких стран. Особенно часто продолжительные засухи с трагическими последствиями возникают в Сахельской области Африки.

Большой ущерб приносят такие атмосферные явления, как снегопады, кратковременные ливневые дожди и продолжительные затяжные дожди. *Снегопады* вызывают массовые сходы лавин в го-

рах, а быстрое таяние выпавшего снега и ливневые продолжительные дожди приводят к *наводнениям*. Огромная масса воды, падающая на земную поверхность, особенно в безлесных районах, вызывает сильную эрозию почвенного покрова. Происходит интенсивный рост овражно-балочных систем. Наводнения возникают в результате крупных паводков в период обильного выпадения атмосферных осадков или половодья после внезапно наступившего потепления или весеннего таяния снега и, следовательно, по происхождению относятся к атмосферным явлениям (они рассматриваются в главе, посвященной экологической роли гидросферы).

6.5. Антропогенные изменения атмосферы

В настоящее время имеется множество различных источников антропогенного характера, вызывающих загрязнение атмосферы и приводящих к серьезным нарушениям экологического равновесия. По своим масштабам наибольшее воздействие на атмосферу оказывают два источника: транспорт и промышленность. В среднем на долю транспорта приходится около 60 % общего количества атмосферных загрязнений, промышленности — 15, тепловой энергетики — 15, технологий уничтожения бытовых и промышленных отходов — 10 %.

Транспорт в зависимости от используемого топлива и типов окислителей выбрасывает в атмосферу оксиды азота, серы, оксиды и диоксиды углерода, свинца и его соединений, сажу, бензопирен (вещество из группы полициклических ароматических углеводородов, которое является сильным канцерогеном, вызывающим рак кожи).

Промышленность выбрасывает в атмосферу сернистый газ, оксиды и диоксиды углерода, углеводороды, аммиак, сероводород, серную кислоту, фенол, хлор, фтор и другие соединения и химические элементы. Но главенствующее положение среди выбросов (до 85 %) занимает пыль.

В результате загрязнения меняется прозрачность атмосферы, в ней возникают аэрозоли, смог и кислотные дожди.

Аэрозоли представляют собой дисперсные системы, состоящие из частиц твердого тела или капель жидкости, находящихся во взвешенном состоянии в газовой среде. Размер частиц дисперсной фазы обычно составляет 10^{-3} — 10^{-7} см. В зависимости от состава дисперсной фазы аэрозоли подразделяют на две группы. К одной относят аэрозоли, состоящие из твердых частиц, диспергированных в газообразной среде, ко второй — аэрозоли, являющиеся смесью газообразных и жидких фаз. Первые называют дымами, а вторые — туманами. В процессе их образования большую роль иг-

ают центры конденсации. В качестве ядер конденсации выступают вулканический пепел, космическая пыль, продукты промышленных выбросов, различные бактерии и др. Число возможных источников ядер концентрации непрерывно растет. Так, например, при уничтожении огнем сухой травы на площади 4000 м² образуется в среднем $n \cdot 10^{22}$ ядер аэрозолей.

Аэрозоли начали образовываться с момента возникновения нашей планеты и влияли на природные условия. Однако их количество и действия, уравниваясь с общим круговоротом веществ в природе, не вызывали глубоких экологических изменений. Антропогенные факторы их образования сдвинули это равновесие в сторону значительных биосферных перегрузок. Особенно сильно эта особенность проявляется с тех пор, как человечество стало использовать специально создаваемые аэрозоли как в виде отравляющих веществ, так и для защиты растений.

Наиболее опасными для растительного покрова являются аэрозоли сернистого газа, фтористого водорода и азота. При соприкосновении с влажной поверхностью листа они образуют кислоты, губительно воздействующие на живые ткани. Кислотные туманы выпадают вместе с вдыхаемым воздухом в дыхательные органы животных и человека, агрессивно воздействуют на слизистые оболочки. Одни из них разлагают живую ткань, а радиоактивные аэрозоли вызывают онкологические заболевания. Среди радиоактивных изотопов особую опасность представляет Si^{90} не только своей канцерогенностью, но и как аналог кальция, замещающий его в костях организмов, вызывая их разложение.

Во время ядерных взрывов в атмосфере образуются радиоактивные аэрозольные облака. Мелкие частицы радиусом 1—10 мкм попадают не только в верхние слои тропосферы, но и в стратосферу, в которой они способны находиться длительное время. Аэрозольные облака образуются также во время работы реакторов промышленных установок, производящих ядерное топливо, а также в результате аварий на АЭС.

Смог представляет собой смесь аэрозолей с жидкой и твердой дисперсными фазами, которые образуют туманную завесу над промышленными районами и крупными городами.

Различают три вида смога: ледяной, влажный и сухой. Ледяной смог назван аляскинским. Это сочетание газообразных загрязнителей с добавлением пылеватых частиц и кристалликов льда, которые возникают при замерзании капель тумана и пара отопительных систем.

Влажный смог, или смог лондонского типа, иногда называется зимним. Он представляет собой смесь газообразных загрязнителей (в основном сернистого ангидрита), пылеватых частиц и капель тумана. Метеорологической предпосылкой для появления зимнего смога является безветренная погода, при которой слой теплого



Рис. 6.4. Метеорологическая обстановка, благоприятствующая возникновению зимнего смога

воздуха располагается над приземным слоем холодного воздуха (ниже 700 м) (рис. 6.4). При этом отсутствует не только горизонтальный, но и вертикальный обмен. Загрязняющие вещества, обычно рассеивающиеся в высоких слоях, в данном случае накапливаются в приземном слое.

Сухой смог возникает в летнее время, и его нередко называют смогом лос-анджелесского типа (рис. 6.5). Он представляет собой смесь озона, угарного газа, оксидов азота и паров кислот. Образуется такой смог в результате разложения загрязняющих веществ солнечной радиацией, особенно ультрафиолетовой ее частью. Метеорологической предпосылкой является атмосферная инверсия, выражающаяся в появлении слоя холодного воздуха над теплым.

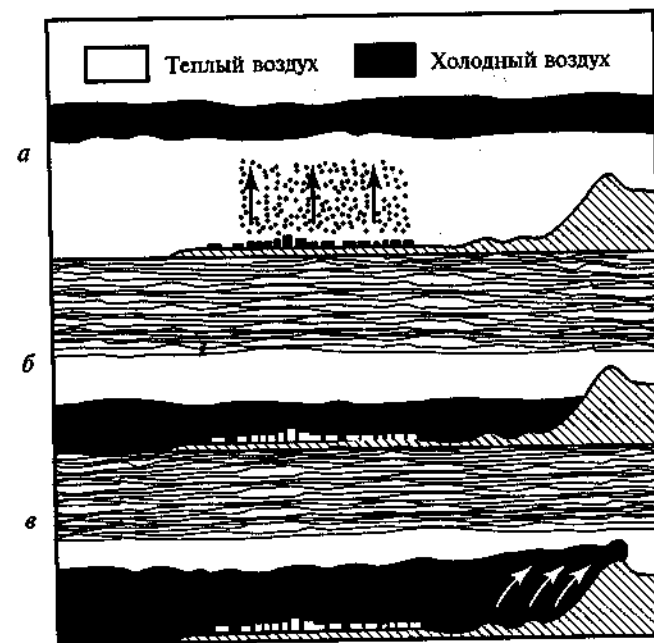
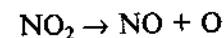


Рис. 6.5. Динамика смога в долине Лос-Анджелеса.

При нормальных условиях (а) температура воздуха понижается с высотой. Теплый воздух поднимается вверх и рассеивает примеси, выбрасываемые у поверхности земли. Когда устанавливается инверсионное распределение температуры (б), холодный воздух располагается под теплым, который поступает из калифорнийских пустынь. Это продолжается до тех пор, пока метеорологические условия не изменятся. При этом ветер (в) вызывает смещение холодного воздуха и происходит исчезновение смога

Обычно поднимаемые теплыми потоками воздуха газы и твердые частицы затем рассеиваются в верхних холодных слоях, но в данном случае накапливаются в инверсионном слое. В процессе фотоллиза диоксида азота, образованные при сгорании топлива в двигателях автомобилей, распадаются:



Затем происходит синтез озона:



Процессы фотодиссоциации сопровождаются желто-зеленым свечением.

Кроме того, происходят реакции по типу: $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$, т.е. образуется сильная серная кислота.

С изменением метеорологических условий (появление ветра или изменение влажности) холодный воздух рассеивается и смог исчезает.

Наличие канцерогенных веществ в смоге приводит к нарушению дыхания, раздражению слизистых оболочек, расстройству кровообращения, возникновению астматических удуший и нередко к смерти. Особенно опасен смог для малолетних детей.

Кислотные дожди представляют собой атмосферные осадки, подкисленные растворенными в них промышленными выбросами оксидов серы, азота и паров хлорной кислоты и хлора (рис. 6.6). В процессе сжигания угля, нефти и газа большая часть находящейся в ней серы как в виде оксида, так в соединениях с железом, в частности в пирите, пирротине, халькопирите и т. д., превращается в оксид серы, который вместе с диоксидом углерода выбрасывается в атмосферу. При соединении атмосферного азота и технических выбросов с кислородом образуются различные оксиды азота, причем объем образовавшихся оксидов азота зависит от температуры горения. Основная масса оксидов азота возникает во время эксплуатации автотранспорта и тепловозов, а меньшая часть приходится на энергетику и промышленные предприятия. Оксиды серы и азота — главные кислотообразователи. При реакции с атмосфер-

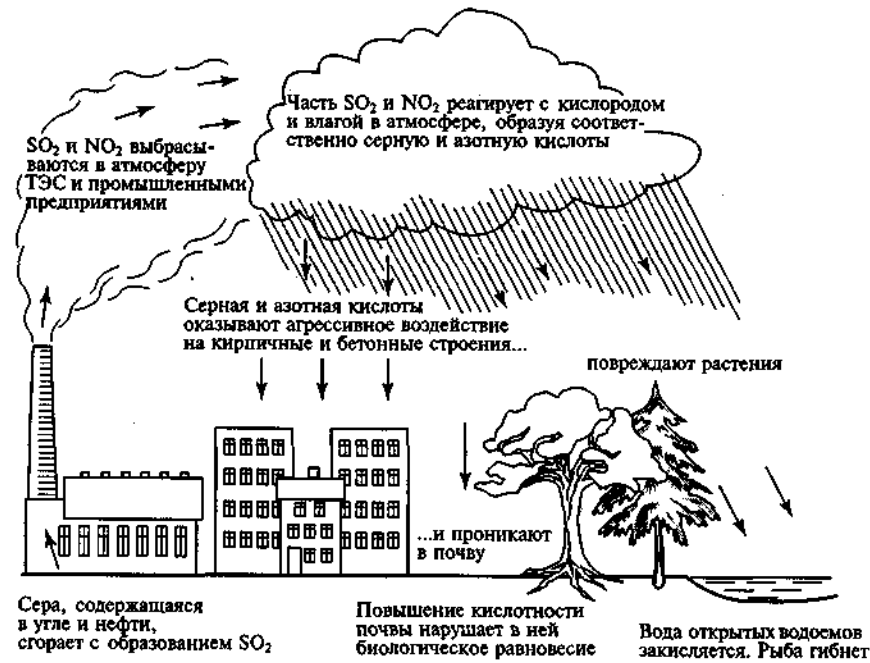


Рис. 6.6. Кислотные дожди: причины их возникновения и вредное влияние

ным кислородом и находящимися в нем парами воды образуются серная и азотная кислоты.

Известно, что щелочно-кислотный баланс среды определяется величиной рН. Нейтральная среда имеет величину рН, равную 7, кислая — 0, а щелочная — 14 (рис. 6.7). В современную эпоху величина рН дождевой воды составляет 5,6, хотя в недавнем прошлом она была нейтральной (рН 7). Уменьшение значения рН на единицу соответствует десятикратному повышению кислотности и, следовательно, в настоящее время практически повсеместно выпадают дожди с повышенной кислотностью. Максимальная кислотность дождей, зарегистрированная в Западной Европе, составляла 4—4,5 рН. При этом надо учесть, что величина рН, равная 4—4,5, смертельна для большинства рыб.

Кислотные дожди оказывают агрессивное воздействие на растительный покров Земли, на промышленные и жилые здания и способствуют существенному ускорению выветривания обнаженных горных пород. Повышение кислотности препятствует саморегуляции нейтрализации почв, в которых растворяются питательные вещества. В свою очередь, это приводит к резкому снижению урожайности и вызывает деградацию растительного покрова. Кис-

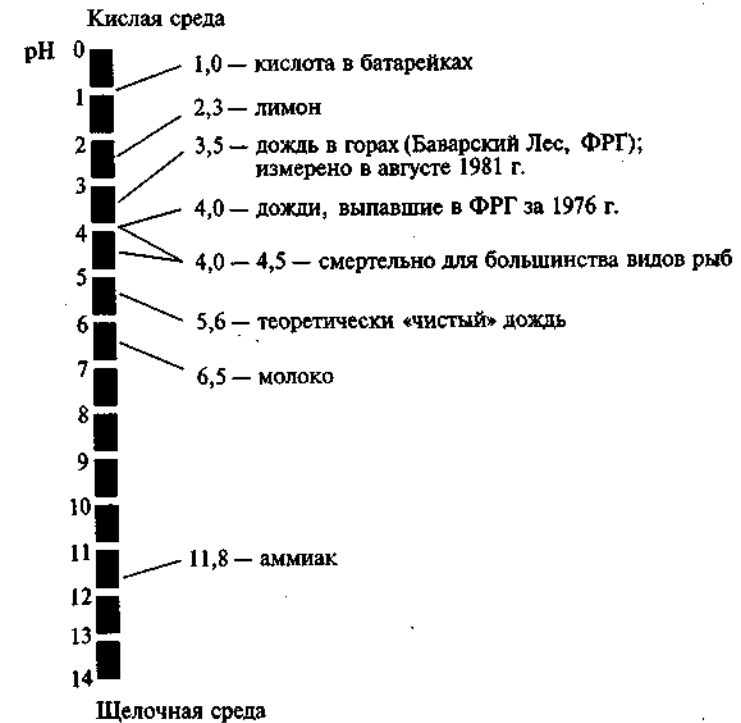


Рис. 6.7. Шкала значений щелочно-кислотного потенциала (рН)

лотность почв способствует освобождению находящихся в связанном состоянии тяжелых металлов, которые постепенно усваиваются растениями, вызывая у них серьезные повреждения тканей и проникая в пищевые цепочки человека.

Изменение щелочно-кислотного потенциала морских вод, особенно в мелководьях, ведет к прекращению размножения многих беспозвоночных, вызывает гибель рыб и нарушает экологическое равновесие в океанах.

В результате кислотных дождей под угрозой гибели находятся лесные массивы Западной Европы, Прибалтики, Карелии, Урала, Сибири и Канады.

6.6. Парниковый эффект и нарушение озонового слоя

В результате антропогенного воздействия на атмосферу кроме образования аэрозольных облаков, смога и кислотных дождей происходит усиление парникового эффекта и нарушение озонового экрана.

Парниковый эффект. Под парниковым эффектом атмосферы по аналогии с увеличением температуры и влажности в замкнутом пространстве парника (теплицы или оранжереи) понимают разогрев приземного слоя воздуха, вызывающий изменение погодных условий и сопровождающийся потеплением климата. Парниковый эффект атмосферы обусловлен тепловым балансом земной поверхности и атмосферы.

Как известно, тепловой режим приземных слоев атмосферы определяется солнечным нагревом земной поверхности (инсоляцией), к которому добавляется поток внутренней теплоты, поступающей из земных недр. Величины этих двух потоков существенно различны. На долю инсоляции приходится около 99,5% от всей суммы теплоты, получаемой земной поверхностью, а остальное (0,5%) падает на долю внутренней теплоты.

Мы уже отмечали, что коротковолновое солнечное излучение в значительной степени поглощается озоновым слоем, а солнечная теплота — атмосферной влагой, углекислотой и аэрозолями частично рассеивается в тропосфере и отражается обратно в космическое пространство. На поверхность Земли попадает около 44% солнечных лучей, главным образом в видимой и инфракрасной областях спектра. Именно за счет этих лучей нагревается земная поверхность. Часть длинноволнового земного излучения поглощается атмосферой, задерживая его поступление в космическое пространство, и возвращается обратно. Данный процесс и называется парниковым эффектом атмосферы. Благодаря действующему в течение практически всей истории Земли этому процессу приземная атмо-

сфера нагревается и сохраняет теплоту, которая расходуется на создание благоприятных условий для жизнедеятельности организмов.

Поглощение длинноволнового и инфракрасного излучений происходит за счет таких примесей в атмосферном воздухе, как углекислый газ, водяные пары, метан, оксиды азота и озона. Долгое время считалось, что главное воздействие оказывают только пары воды, но выяснилось, что действие оксидов азота, CO_2 , O_3 и паров воды достаточно велико и каждый из них эффективен в различных областях спектра. Этот природный процесс, действующий со времени появления в атмосфере углекислоты, затем паров воды и озона, обусловил развитие органического мира и способствовал выходу животных и растений на земную поверхность.

Техногенез привел к резкому возрастанию концентраций всех энергопоглощающих соединений и в первую очередь углекислоты. В настоящее время содержание CO_2 в атмосфере составляет примерно 336 частей/млн (около 25 лет назад его количество составляло 310—315 частей/млн). В результате антропогенного выброса углекислоты в атмосферу вследствие сжигания минерального топлива происходит существенное повышение ее концентрации. Расчеты академика М. И. Будыко (1977, 1980, 1986) показывают, что в начале XXI в. в атмосферу должно поступить 400—450 частей/млн, что приведет к глобальному повышению температур на 1—1,5 °C. Глобальное потепление климата и изменение погодных условий происходят в жизни одного поколения и приводят к довольно значительным изменениям природной среды. В том случае, если концентрация CO_2 в атмосфере превысит 600—700 частей/млн, это вызовет катастрофические изменения климата и увеличение уровня Мирового океана в результате таяния ледниковых покровов в Гренландии и Антарктиде. Для того чтобы снизить поступление техногенной углекислоты в атмосферу, в декабре 1998 г. в г. Киото (Япония) ведущими промышленными странами было заключено соглашение о постепенном снижении потребления минерального топлива и сокращении выбросов в атмосферу углекислого газа.

Техногенные выбросы оксидов азота, приводящие к усилению парникового эффекта атмосферы, также достаточно велики. Они приводят к обогащению тропосферного воздуха энергопоглощающим озоном.

Нарушение озонового слоя и возникновение озоновых дыр. Молекула озона (O_3) состоит из трех атомов кислорода. В атмосфере озон образуется в результате фотохимической диссоциации молекулярного кислорода под воздействием солнечной радиации с длиной волны не менее 240 нм.

Максимальная концентрация озона сосредоточена в тропосфере на высотах 17—25 км, где существует так называемый озоновый слой. Его масса столь мала, что при нормальном приземном давлении весь атмосферный озон образовал бы слой толщиной

всего 3 мм. Озоновый слой тоньше в экваториальных районах и толще в полярных. Он отличается значительной изменчивостью во времени и по территории вследствие колебаний солнечной радиации и циркуляции атмосферы.

Несмотря на малую мощность и небольшое содержание в атмосфере, озоновый слой защищает организмы Земли от вредного и очень губительного воздействия ультрафиолетовой радиации Солнца. Озон поглощает ее жесткую часть (UVC) с длинами волн 100—280 нм (или 10^{-9} м) и большую часть менее энергоемкой, но также опасной UVB радиации с длинами волн 280—315 нм. Менее активная часть спектра ультрафиолетовой радиации (более длинноволновая часть UVB и вся UVA с длинами волн 315—400 нм) озоном не абсорбируется и проникает в тропосферу.

С воздействием жесткой ультрафиолетовой радиации связаны неизлечимые формы рака кожи, болезни глаз, нарушения иммунной системы людей, неблагоприятные и даже опасные для жизнедеятельности воздействия на планктонные организмы в Мировом океане, снижение урожайности зерновых культур и другие экологические последствия.

Жизнь на земной поверхности стала возможной только после того, как в атмосфере Земли возник озоновый слой, когда сформировалась надежная защита. Произошло это около 400 млн лет тому назад, и только после этого на суше возник растительный покров и стали обитать наземные организмы. До этого времени жизнь развивалась в морской среде и слой воды толщиной в несколько метров предохранял живые существа от воздействия ультрафиолетового излучения.

Еще в начале 70-х годов XX в. состояние озонового слоя стало вызывать беспокойство ученых. В 1974 г. американские геохимики Ш. Роуланд и М. Молина пришли к выводу о том, что возрастающее производство и применение хлорфторуглеродов неизбежно приведут к прогрессирующей деградации озонового слоя.

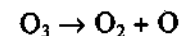
Это предупреждение о грядущем разрушении озонового слоя с серьезными последствиями для человечества было замечено научной общественностью и политиками. Однако переговоры о подготовке Международной конвенции по защите озонового слоя происходили весьма вяло. Конвенция была заключена в Вене в 1985 г. уже после появления первых сообщений о возникновении озоновых дыр и стала декларацией о необходимости международного сотрудничества в этой области.

Озоновый слой, формирующийся в результате фотолиза молекулярного кислорода, под воздействием различных причин как природного, так и антропогенного характера действительно стал постепенно разрушаться. Впервые его частичная деградация была зафиксирована во время наблюдений с полярных станций в Антарктиде в 80-е годы. Первая озоновая дыра была обнаружена в

атмосфере над Антарктидой английским исследователем Д. Фарманом в октябре — ноябре 1984 г. В ее пределах содержание озона оказалось на 40 % ниже, чем в среднем над всем континентом (рис. 6.8). С тех пор число и размеры так называемых озоновых дыр увеличиваются. К тому же они были обнаружены не только в Южном, но и в северном полушарии.

Обнаруженная над Антарктидой озоновая дыра стала тревожным сигналом общепланетарного неблагополучия и потребовала серьезного внимания всех стран мира. Вскоре после этого в 1988 г. был подписан Монреальский протокол к Конвенции по защите озонового слоя, предусматривающий постепенное сокращение производства и потребления хлорфторуглеродов.

В разложении озона принимают участие кислородный, водородный, азотный и галогидный циклы химических преобразований (Г.А. Богдановский, 1994). В соответствии с кислородным циклом (цикл Чепмена) озон распадается на молекулярный и атомарный кислород:



На высотах 20—40 км в результате такого химического процесса теряется около 20 % атмосферного озона.

Более существенные потери приходятся на долю водородного цикла — до 60 % озона на высотах 17—25 км. Потеря озона обус-

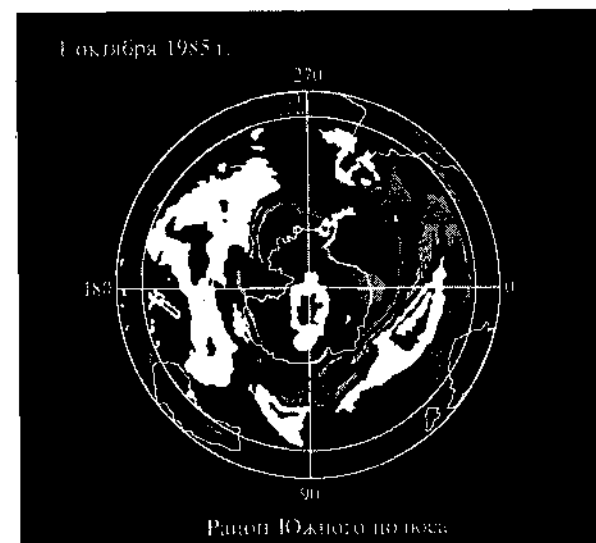
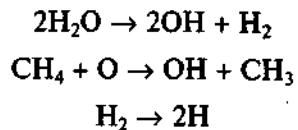
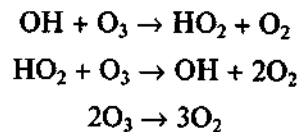


Рис. 6.8. Карта, демонстрирующая «дыру» в озоновом экране над Антарктидой в октябре 1985 г. (сделана со спутника). В 1987 г. размеры «дыры» увеличились

ловливается его взаимодействием с радикалом (ОН). Образование гидроксила происходит при взаимодействии водорода, метана и воды с атомарным кислородом по следующей схеме:

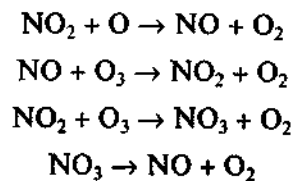


Сам водородный цикл может быть записан следующим образом:

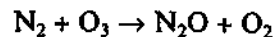


Подобные реакции имеют большие скорости и поэтому протекают весьма энергично, особенно на высотах 17—25 км.

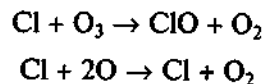
В начале 70-х годов XX в. для определения состояния озонового слоя в модельные расчеты исследователи ввели представления об азотном цикле, основанные на способности оксидов азота разрушать молекулу озона. Они раскрываются в следующих химических реакциях:



Кроме того, установлено, что при сравнительно низких температурах озон способен реагировать с инертным азотом:



В 70-е годы XX в. был открыт галоидный цикл разложения озона:



Последнему циклу многие исследователи придают главенствующую роль в разрушении озонового экрана.

Как показывают исследования последних лет, на состояние озонового экрана, возможно, сильно влияет азотный цикл. Однако до настоящего времени не изучена степень совместного влияния всех перечисленных четырех циклов на состояние озонового слоя.

Вместе с тем установлено, что в последние десятилетия происходит глобальное сокращение содержания озона в стратосфере и

тропосфере. Только с 60-х годов XX в. атмосфера Земли потеряла почти 15 % озона.

Выше мы отмечали, что в верхних частях тропосферы и в стратосфере происходит периодическое образование озоновых дыр. Они имеют локальное распространение, но их размеры составляют несколько сотен миллионов квадратных километров. Все озоновые дыры через сравнительно короткие отрезки времени постепенно исчезают, а уровень содержания озона в них вновь восстанавливается.

Было выявлено уменьшение содержания озона над определенными территориями и в северном полушарии. Зимой 1991—1992 гг. падение уровня содержания озона было зафиксировано над Северной Европой. Наблюдательные пункты в районе Риги и Санкт-Петербурга установили падение уровня содержания озона на 40—55 % ниже многолетней нормы. В 1993 г. появление озоновой дыры было выявлено и над территорией США и частично над Канадой.

В 1995 г. резко усилившийся процесс разрушения озона был зарегистрирован и над территорией СНГ. Наиболее сильная потеря озона была отмечена в сентябре 1995 г. над северо-востоком России. Возникли значительные аномалии над озерами Байкал и Балхаш, над Прикаспийской низменностью, Полярным Уралом и Памиром.

Надо подчеркнуть, что с тех пор значительные потери озона наблюдались над обширными территориями Арктики и над Британскими островами, Скандинавией, Северо-Западом и Северо-Востоком России.

Биологические последствия возникновения озоновых дыр. Периодически возникающие озоновые дыры весьма негативно влияют на биоту. Это вызвано отрицательной ролью ультрафиолетового излучения. В жизнедеятельности организмов немаловажная роль принадлежит коротковолновой части солнечной радиации.

Выявлены следующие особенности влияния ультрафиолетового излучения на живые организмы.

1. Облучение ДНК и клеточных мембран микроорганизмов приводит к потере способности ориентации, а это в конечном итоге способствует их гибели, что вызывает нарушение в пищевых цепях и представляет серьезную экологическую опасность для органического мира.

2. Под воздействием UVB-излучения нарушается рост растений суши, уменьшаются их число и размеры, подавляются реакции фотосинтеза. Поэтому даже небольшое снижение концентраций озона в атмосфере приводит к резкому сокращению урожайности.

3. Большая часть UVB-излучения поглощается водой, но данный процесс не беспределен. В фитопланктоне подавляется фотосинтез и снижается его продуктивность. В зоопланктоне особенно чувствительны к излучению молодые организмы, в которых появ-

ляются патологические изменения и происходит массовая гибель отдельных сообществ и целых популяций.

4. У крупных млекопитающих, в том числе и у человека, UVB-излучение в первую очередь поражает глаза, кожу и иммунную систему. У людей возникает конъюнктивит, развивается катаракта, усиливается морщинистость кожи (фотоэластоза), появляются ожоги кожи (эритема), рак кожи и меланомы. Исследования показывают, что при снижении уровня озона на 1—2% повышается уровень заболевания меланомой, а это, в свою очередь, приводит к росту смертности на 0,8—1,5%.

В связи с крайне негативными последствиями проблема происхождения озоновых дыр и разработка методов противостояния сокращению стратосферного озона в настоящее время имеют не только научное, но и важнейшее практическое значение.

Все гипотезы о происхождении озоновых дыр могут быть объединены в три группы: метеорологическую, техногенную и эндогенную.

Метеорологическая группа гипотез связывает образование озоновых дыр с естественными процессами формирования озона. Сторонники этих гипотез считают, что образование и общее содержание озона в конкретном объеме атмосферы зависят от характера метеорологических процессов и перепадов температур, которые определяют не только направления воздушных потоков, но и скоростные параметры реакции кислородного, азотного и водородного циклов.

Правильность этих гипотез подтверждают четко выраженные суточные и сезонные колебания общего содержания озона, связанные с вспышками или ослаблениями фотохимических реакций.

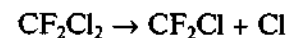
Установлены определенные корреляции между содержанием озона и атмосферными процессами. На фронтах циклонов, во время штормов и тайфунов резко снижается концентрация озона. Как правило, сезоны и районы активного образования циклонов совпадают со временем минимальных значений содержания озона в тропической и субтропической областях. Планетарная озоновая дыра над Северной Атлантикой совпадает с местами рождения циклонов. Маршруты циклонических вихрей в Каспии и на Дальнем Востоке совпадают с озоновыми аномалиями.

Образование озоновых дыр в полярных областях связывают с существованием крайне низких температур в стратосферном слое. Ведь низкие температуры увеличивают скорости реакций, разрушающих озон. Наблюдения показали, что снижение озона в стратосфере наступает по мере падения температуры, когда в пределах полярной воронки, охватывающей север Канады, Сибирь, Скандинавию и Европейскую Арктику, начинают образовываться переохлажденные ледяные облака. Именно в них разрушаются молекулы озона.

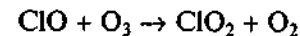
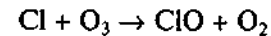
В январе 1996 г. над Европейской Арктикой установились и долгое время держались крайне низкие температуры. В это время полярные стратосферные облака возникали по краям воронки, что вызвало разрушение озонового слоя на большой площади. Утончение озонового слоя наблюдалось над Скандинавией, северной частью Восточной Европы и даже над Великобританией.

Техногенная группа гипотез основывается на роли в разрушении озонового слоя техногенных хлор- и фторсодержащих газов — фреонов, которые используют в холодильной промышленности и в качестве распыляющих веществ в аэрозольных упаковках. Фреоны представляют собой хлорсодержащие соединения метана, этана и пропана с обязательным содержанием фтора (CFC1₃, CF₂Cl₂, CF₃Cl, CF₄, C₂H₄F₂, C₂H₂F₄ и др.).

Американские ученые М. Молина и Ш. Роулэнд, открывшие каталитический цикл разложения озона, в 1974 г. высказали мнение, что активный хлор в составе фреонов может поступать в стратосферу, где в условиях низких температур в полярных широтах происходит его фотолиз:



Свободный хлор вызывает галоидный цикл разложения озона по следующим реакциям:



В 1987 г. это предположение было подтверждено прямыми измерениями с борта американского самолета У-2, выполнявшего исследовательские рейсы в верхней тропосфере и в стратосфере от чилийского города Пунта-Аренас в глубь Антарктиды. Были выявлены значительные корреляции между содержанием озона и оксидами хлора в пределах озоновой дыры.

Это открытие стало достоянием мировой общественности и побудило осуществить ряд мер по ограничению поступления техногенного фреона в стратосферу. В 1986 г. ООН в рамках программы по охране окружающей среды провела конференцию в Монреале. В принятом протоколе страны-участницы высказали озабоченность и приняли решение о резком снижении к 1989 г. производства фреонов. В числе других стран этот протокол подписали Россия, Украина и Белоруссия, которые обязались перепрофилировать свои предприятия на производство иных типов хладоносителей. Однако в данном направлении было мало что сделано. За свое открытие авторы техногенно-фреоновой гипотезы в 1995 г. были удостоены Нобелевской премии.

Вместе с тем появляются сведения о том, что сокращение озона хотя и происходит по мере выбросов фреона в атмосферу, но фреоны не могут быть единственной причиной разрушения озонового слоя. Сомнения в правильности фреоновой гипотезы следующие.

1. Модельные расчеты, проводимые с 1985 г., показывают расхождение с фактическими данными о глобальном снижении озона.

2. Ряд исследований показывают возможность разложения фреонов при контакте с некоторыми видами почв, кварцевыми песками и кварцсодержащими породами. Этим самым подвергается сомнению базовое положение гипотезы о длительности пребывания в тропосфере фреонов и их инертности.

3. Озоновая дыра наиболее сильно выражена в Антарктиде, в то время как максимальное производство и потребление фреонов сосредоточены в умеренных широтах северного полушария. Сторонники фреоновой гипотезы считают, что вследствие своей подвижности фреоны переносятся в атмосфере в течение года и благодаря воздушным потокам интенсивно перемешиваются.

4. Сторонники фреоновой гипотезы не учитывают возможность поступления в атмосферу иных источников, кроме техногенных. Однако при исследовании пузырьков воздуха в антарктическом льде, имеющем возраст 1100—2600 лет, обнаружены фреоны, имеющие вулканическое происхождение.

Исследования последних лет свидетельствуют о наличии повышенных концентраций фреонов над действующими вулканами Курильской гряды.

Кроме вулканов источниками природного хлора являются лесные пожары. Образованный хлорный метил (CH_3Cl) с восходящими потоками нагретого воздуха во время масштабных пожаров способен достигать верхней части тропосферы и входить в реакции с озоном.

5. Масштабные выбросы в атмосферу природного метана, особенно резко выросшие в процессе добычи и транспортировки нефти и природного газа, к которым добавляются потоки биогенного метана из болот, в тысячу раз превосходят потоки фреонов любой природы. В присутствии же метана реакция взаимодействия хлора с озоном прекращается. Следовательно, о галоидном цикле сокращения стратосферного озона как процессе планетарного масштаба говорить не приходится.

Эндогенная гипотеза сокращения озонового слоя носит название гипотезы водородно-метановой продувки. В основе этой концепции лежит представление о взаимодействии эндогенных флюидов — водорода, метана и азота со стратосферным озоном. Гипотеза была высказана в 90-х годах XX в. В.Л. Сывороткиным. С точки зрения химии процесса разрушения озонового слоя гипотеза не оригинальна. В ее основе лежат представления о водород-

м и азотном циклах разрушения озона. Принципиально новым в гипотезе является представление об источнике поступления флюидов в атмосферу.

Потоки эндогенных газов, выбрасываемые в атмосферу, вызваны процессами, протекающими в недрах Земли, — процессами газации внешнего ядра, насыщенного флюидами в обстановке высокого водородно-гелиевого давления на ранних этапах существования планеты. Однако данное положение основано на предположении о гидратном составе земного ядра, которое противостоит принятой в настоящее время концепции о железном ядре.

Существование газовых потоков водорода и азота с примесью метана и углеводородов подтверждается данными, полученными при исследованиях газового состава глубоких скважин, составов газожидких включений в минералах интрузивных пород, в базальтовых лавах, фумаролах и гидротермах. Так, например, в Калифорнийском заливе и над Восточно-Тихоокеанским поднятием между 20 и 35° ю. ш. обнаружены мощные водородные струи. Гидротермы с газами водородного состава обнаружены в Центральном грабене Исландии, над рифтами Срединно-Атлантического рифта, в Красноморском рифте, в желобе Тонга и других местах Атлантического, Индийского и Тихого океанов. Эндогенные флюидные потоки зафиксированы в кимберлитовых трубках Удачная, Обилейная, Мир. В некоторых из них дебит газовой струи достигает 1200 л/с. В ней на долю водорода приходится 50—60 %, а метана — 30—50 %.

Главными каналами, через которые газы выходят на дневную поверхность, являются рифтовые области, максимально сближающиеся над Антарктидой. Предполагается, что атмосфера над Антарктидой подвергается максимальной продувке озоноразрушающими газами.

По В.Л. Сывороткину, часть озоновых дыр возникает над базальтовыми щитовыми вулканами, для которых характерно образование лавовых озер, флюидная продувка которых приводит к появлению так называемых «волос Пеле». Этот редкий феномен был обнаружен на вулкане Килауэа на Гавайях и на вулкане Эребус в Антарктиде. Кроме того, подобные явления были обнаружены в Восточной Африке (вулкан Ньярагонго), возле Красного моря (вулкан Эрта-Але), на Азорских островах (вулкан Капельниш). Важно, что над всеми перечисленными районами периодически появляются озоновые дыры.

Согласно расчетным данным, общий объем эндогенных газов многократно превышает объем техногенных газов, способных разрушить стратосферный озон. Кроме того, эндогенные газы намного легче фреонов, которые тяжелее воздуха. Для того чтобы доставить фреоны в атмосферу, необходимы мощные потоки горячего воздуха. Вулканические извержения, как известно, способны вы-

брасывать свои продукты, в том числе газы, на десятки километров в атмосферу.

Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что процесс разрушения озонового слоя трудно объяснить действием только одного какого-то природного или техногенного процесса. Формирование и разрушение озонового слоя представляют собой многофакторный процесс, и, следовательно, попытка абсолютизации какого-то одного фактора в рамках изложенных гипотез явно обречена на неудачу.

6.7. Асидификация атмосферы и гидросферы

Асидификация — это природный процесс, вызванный антропогенной деятельностью и приводящий к повышению кислотности реакции атмосферы, гидросферы и педосферы. Еще в середине XIX в. обратили внимание на кислотные осадки, которые выпадали в окрестностях г. Манчестера (Англия). Английский ученый Р.А. Смирн измерил кислотность атмосферных осадков и, обнаружив высокую концентрацию, назвал их кислотными дождями. Около 50 лет назад обратили внимание на увеличение кислотности внутренних вод, в частности озер Скандинавии. Впоследствии отметили ухудшение состояния почв и установили влияние возрастания кислотности на биологические компоненты ландшафтов. С течением времени повышение кислотности грунтовых вод, поверхностных водоемов и атмосферных осадков переросло в глобальную проблему.

В естественных нормальных условиях атмосферные осадки обычно обладают нейтральной или слабокислой реакцией, т.е. щелочно-кислотный показатель рН равен или меньше 7. Принято считать, что кислотные осадки — это осадки, у которых рН меньше 5.

Кислотные осадки бывают двух типов: сухие, выпадающие недалеко от источника их поступления, и влажные, распространяющиеся на большие расстояния. Основными компонентами кислотных осадков являются аэрозоли оксидов серы и азота, а также аммиак, которые совместно или раздельно при взаимодействии с атмосферной или почвенной влагой образуют капельки серной, азотной и некоторых других кислот.

Кислотные осадки имеют как природное, так и антропогенное происхождение. Основными источниками естественных кислотных осадков являются извержения вулканов, лесные пожары, дефляция почв и др., а антропогенных кислотных осадков — процессы сжигания минерального топлива, главным образом каменного и бурого угля в тепловых электростанциях и котельных, в металлургии, нефтехимической промышленности, на транспорте и др. Вследствие того что мировое сообщество продолжает использовать в ка-

честве основного источника тепловой энергии минеральные полезные ископаемые, происходит неуклонное ухудшение состояния атмосферы.

В настоящее время антропогенная эмиссия кислотных соединений вдвое превышает их суммарные естественные выбросы, а в северном полушарии это соотношение достигает 9:1. В 1990 г. антропогенная эмиссия диоксида серы в атмосферу втрое превышала природные выбросы (соответственно 75 и 25 млн т в год). Эмиссия азота только вследствие сжигания горючих полезных ископаемых вдвое превысила естественные выбросы.

В результате широкого использования ископаемого топлива в атмосферу кроме углекислого газа попадают вещества, образующие антропогенные кислотные осадки. Только над территориями северной Америки и Европы, где обитает всего 14 % населения планеты, выбрасывается около 70 % общемирового объема веществ, образующих антропогенные кислотные осадки. Основные области распространения кислотных осадков — промышленные районы северной Америки, Западной и Восточной Европы, Япония, Корея, Китай. Но этими регионами зона распространения кислотных выбросов не ограничивается. Медленно, но неуклонно начинает нарастать и доля развивающихся стран, особенно расположенных в Азии.

Другим источником кислотных соединений является сельское хозяйство. В настоящее время естественная фиксация соединений азота в процессе построения растительной массы уже не в состоянии обеспечить потребности земледелия в азотном биогенном элементе — важнейшем химическом элементе для жизнедеятельности организмов. Приходится увеличивать использование азотных удобрений и расширять площади под посевами бобовых и рисовых культур, которые обладают способностью фиксировать азот в почвенном слое.

В результате резко возросшего количества внесенных азотных удобрений и существующей эрозии почв часть азотных соединений выносится, напрямую попадая в атмосферу, или вовлекается в круговорот водными потоками.

Высок среднегодовой выброс в атмосферу сульфатных частиц. Особенно большие выбросы серы дает промышленность США. На территории России фоновое загрязнение оксидами серы и азота отмечается повсеместно.

Вклад России в глобальную эмиссию серы составляет 15—20 %, оксидов азота 10—15 %. Достаточно четко выделяются территории с повышенным уровнем кислотности осадков: запад и центр европейской части России, Урал, Кольский полуостров, Кузбасс. Внутри этих территорий имеются значительные площади, где выпадает ежегодно от 3 до 5 т серы и 1—2 т азота на каждый квадратный километр.

Антропогенная асидификация приводит к значительным изменениям состояния почвенного покрова, меняет рН поверхностных и грунтовых вод, ухудшает состояние лесов и растительного покрова в целом. Вода с разной степенью кислотности неблагоприятно воздействует на инженерные сооружения, а атмосферная влага влияет на радиационный баланс Земли. Оксиды азота и серы, попадая в избыточном количестве в растения и накапливаясь в их клетках, затем отрицательно влияют на здоровье человека.

При оценке реального воздействия кислотных осадков на ландшафты и их компоненты необходимо сравнивать величины осадков с буферной способностью почв и почвообразующих пород. В целом в областях недостаточного увлажнения кислотные осадки нейтрализуются и особенно серьезной проблемы не представляют. Наоборот, в зонах избыточного и обильного увлажнения воздействие кислотных осадков на почвы, леса, водные объекты оказывается наиболее сильным и неблагоприятным.

Лесные почвы Европы длительное время отличались высокой потенциальной способностью противостоять асидификации. Однако в результате высокой насыщенности промышленными объектами с начала промышленной революции они постепенно теряли буферную способность и оказались предрасположенными к дальнейшей асидификации. Это выразилось в значительной деградации лесного покрова. Особенно показателен такой результат в некоторых странах Центральной и Западной Европы.

Кислотные осадки играют решающую роль в процессах выветривания алюмосиликатного исходного материала. Они увеличивают подвижность в ландшафте высокотоксичного для живых существ алюминия.

Первое время казалось, что высокие и сверхвысокие трубы тепловых электростанций, промышленных предприятий и котельных способствуют снижению концентрации загрязняющих веществ вблизи источника выбросов. Однако высота труб не решает проблемы, особенно при большой плотности источников загрязнения, и к тому же чем выше труба, тем сильнее разнос кислотных осадков на большие расстояния. Следовательно, проблема из локальной превращается в региональную.

Ввиду того что кислотные осадки переносятся на значительные расстояния, возникла необходимость в международном сотрудничестве. Еще в 1979 г. была заключена европейская Конвенция, в которой приняли участие США и Канада, по трансграничному переносу загрязнений воздуха. Впоследствии к ней добавился ряд соглашений по сокращению эмиссии оксидов серы и азота.

Главным антропогенным источником кислотных осадков является тепловая энергетика, поэтому основной путь снижения эмиссии оксидов серы и азота состоит в том, чтобы изменить технологические приемы, использовать минеральное топливо более высоко

качества и с низким содержанием оксидов серы и азота, изменить технологию сжигания, осуществить переход на качественно иной вид топлива (мазут, низкосерный газ), повсеместно обновить на трубах улавливающие фильтры.

6.8. Природные и социально-экономические последствия глобального изменения климата

Изменяющийся климат оказывает огромное влияние как на естественные, так и на социально-экономические процессы. В последние годы Межправительственный комитет по изменению климата проанализировал шесть альтернативных сценариев изменения жизни населения, экономики и энергетики в результате глобального повышения температур в течение XXI в.

Главное внимание во время этих исследований уделялось чувствительности, приспособляемости и уязвимости природных и социально-экономических систем. Чувствительность — это способность системы реагировать на изменения климатических условий. Неудачным примером служит показатель изменения строения функционирования экосистемы любого ранга и производимая ею первичная продукция в зависимости от заданного изменения или колебания температуры приземной части воздуха, влажности количества выпадающих атмосферных осадков. Приспособляемость зависит от заложенных в систему возможностей изменять наступающих климатических изменений режим работы, скорость направленность протекающих в ней процессов и возникающие при этом возможности структурирования. Уязвимость определяет степень ущерба, наносимого системе.

В результате изменения глобальных климатических показателей — среднегодовых температур и влажности — произойдут соответствующие изменения ландшафтов суши, повысятся или снизятся скорости денудации и выветривания, видоизменятся ландшафты Мирового океана, расширятся или сузятся шельфы, произойдут существенные изменения в области сельского хозяйства.

Изменения ландшафтов суши. В средних широтах повышение температуры на 1—3,5 °С, которое прогнозируется на ближайшее столетие, эквивалентно смещению изотерм на 150—550 км по широте в сторону полюсов и на 150—550 м по высоте. В соответствии с этим начнется перемещение растительных экосистем. Однако в силу своей определенной инертности перемещение фауны и флоры будет отставать от изменений климата, в котором они развивались, и тогда им некоторое время придется существовать в непривычном для себя климатическом режиме. Предполагается, что скорость изменения климата будет выше, чем способность некоторых видов, кроме отдельных животных сообществ, мигрировать в бла-

гоприятные для жизнедеятельности места. В результате перемещения климатических областей и зон могут исчезнуть некоторые типы лесного покрова. Растительные экосистемы не будут перемещаться вслед за климатическими условиями как нераздельная их составляющая. Отдельные компоненты растительных биоценозов будут перемещаться с различной скоростью. Ввиду такого неравномерного и избирательного процесса могут возникнуть новые комбинации и ассоциации видов и сообществ, которые создадут неизвестные ранее экосистемы. Леса умеренного пояса потеряют часть видов при сопутствующем увеличении эмиссии углекислого газа, образующегося при окислении отмирающей биомассы.

Некоторые элементы ландшафтов (тундровые и лесотундровые) при потеплении климата могут исчезнуть навсегда, так как именно в арктическом и субарктическом поясах произойдут наибольшие изменения. Сократятся и в дальнейшем исчезнут компоненты криосферы: морские льды, горные и небольшие покровные ледники, многолетняя мерзлота. Изменяется глубина и площадь распространения сезонной мерзлоты, вследствие уменьшения продолжительности зимних сезонов сократятся площади распространения сезонного снежного покрова.

Континентальные ландшафты северного полушария сдвинутся в сторону полюса, и при этом произойдет их сильная трансформация. Частичная деградация многолетней и сезонной мерзлоты повлияет на увеличение эмиссии углекислого газа, что, в свою очередь, приведет к перестройке процессов эмиссии метана в атмосферу.

Предполагается, что треть или половина горных ледников растает. Относительно ледниковых покровов Антарктиды и Гренландии единого мнения нет. Одни ученые считают, что в ближайшие сто лет их площадь, а возможно, и объем не изменятся, другие, наоборот, предсказывают значительное их сокращение.

Пустынные ландшафты окажутся более аридными вследствие значительного повышения температуры воздуха по сравнению с количеством осадков. Вместе с тем существуют расчеты, показывающие, что произойдет миграция пустынных областей в сторону полюсов, а размеры современных пустынь сократятся.

Изменения в области Мирового океана. В первую очередь увеличение температур приведет к некоторому повышению уровня моря и изменению поверхностной и глубинной циркуляции вод океана, что повлияет на распределение и объем питательных веществ, в том числе и углерода, окажет воздействие на биологическую продуктивность. Возросший объем океанских вод и высокие температуры будут способствовать накоплению карбонатов, что приведет к более усиленному изытию из атмосферы углекислого газа.

Изменение уровня океана в первую очередь зависит от гидрометеорологических факторов, напрямую влияющих на испаряемость

количество атмосферных осадков, а также от дополнительного стока вод, возникающих при таянии покровных и горных ледников, и стока вод с континентальных пространств. Кроме гидрометеорологических факторов на уровень Мирового океана оказывает влияние тектонический фактор, определяющий форму и объем Мирового океана, и экзогенные факторы, в частности геологические процессы, к которым относятся аккумуляция наносов в устьях рек, эстуариях, лиманах и заливах или эрозия берегов. Наблюдаемый за последнее столетие рост уровня океана на 25 см — это результат совместного воздействия всех трех факторов при ведущей роли гидрометеорологических.

От изменения уровня Мирового океана пострадает более половины человечества. Поэтому к существующим проблемам климатические изменения добавят новые, которые весьма значительным образом отразятся на приморских территориях. Эти проблемы связаны с высокой и все время увеличивающейся антропогенной нагрузкой на прибрежные системы, многие из которых в настоящее время находятся в состоянии особого риска. Особенно в бедственном положении находятся мангровые системы, представляющие собой засоленные прибрежные болота, коралловые рифы и атоллы, а также системы речных дельт и эстуариев.

Рост уровня Мирового океана с сопутствующим увеличением частоты и силы штормовых нагонов, вызванных усилением тропических циклонов, приведет к затоплению низко расположенных приморских территорий, разрушению берегов и береговых сооружений, вызовет изменение скорости и объема аккумуляции и изменит условия транспортировки обломочного материала и растворенных веществ. Все это может привести к непредсказуемым последствиям. Согласно прогнозным оценкам, в первую очередь пострадают низменные острова и плоские побережья, на которых располагаются многие крупные города и городские агломерации. При этом надо учитывать, что при наступлении масштабных наводнений вероятны значительные миграции населения с серьезными социально-экономическими и политическими последствиями.

Водные ресурсы. Изменения климата приведут к интенсификации глобального гидрологического цикла и вызовут заметные региональные изменения. Относительно небольшие изменения климата могут вызвать нелинейные изменения суммарного испарения и влажности почвы, что приведет к относительно небольшим видоизменениям стока, особенно в аридных районах. В отдельных случаях при увеличении среднегодовой температуры на 1—2 °C и сокращении общего количества атмосферных осадков на 10 % среднегодовой сток сократится примерно на 40—70 %. Это потребует значительных капиталовложений для приспособления водного хозяйства к изменившимся условиям. Особенно большие проблемы

возникнут в тех регионах, где водопотребление значительно, и в регионах с сильным загрязнением вод.

Сельское хозяйство. Изменение климата окажет серьезное влияние на агросистемы. Это вынудит принимать экстренные меры для приспособления сельского хозяйства к новым условиям.

Климатические воздействия на агросистемы будут весьма сложными и неоднозначными. Ввиду увеличения концентрации углекислого газа возрастут объем и скорости фотосинтеза и как следствие этого — урожайность. Урожай сельскохозяйственных культур возрастет также из-за вовлечения в сельскохозяйственный оборот новых земель. В районах, где земледелие лимитируется притоком теплого воздуха, например в России и Канаде, вероятность увеличения урожая возрастет. В аридных и семиаридных районах, где оно ограничено наличием достаточного количества влаги для растений, изменение климата отразится неблагоприятным образом. Потребности в воде для орошения будут сильно конкурировать с другими потребителями водных ресурсов — промышленностью и коммунальным хозяйством. Более высокие температуры воздуха будут способствовать ускорению естественного разложения органического вещества почвы, снижая ее плодородие. Вероятности распространения вредителей и болезней растений увеличатся.

В целом прогнозируется, что общемировой уровень производства продуктов сельского хозяйства может быть сохранен на современном уровне, но региональные последствия будут варьировать в широких пределах. Общая картина мировой торговли продуктами сельского хозяйства вследствие глобального изменения климата может существенно измениться.

С ожидаемыми изменениями климата связаны и значительные изменения, касающиеся здоровья людей, работы гидроэнергетической промышленности, главным образом водной, транспорта, лесотехнической, металлургической, машиностроительной, горнодобывающей и других отраслей промышленности.

6.9. Глобальные и локальные проблемы загрязнения воздушной среды

Геоэкологические проблемы могут иметь глобальный характер, когда они охватывают поверхность Земли, соизмеримую с размерами океанов или континентов, а также если касаются ее атмосферы и гидросферы. В таком случае оказывается, что возникающие геоэкологические проблемы обладают универсальным характером. Региональные и локальные геоэкологические проблемы хотя и охватывают ограниченные территории, но способны расширяться и многократно повторяться и в конце концов перерасти в глобальные: Загрязнение атмосферного воздуха — характерный пример

экологической универсальной проблемы, встречающейся как на локальном, так и на региональном уровне, но при определенных обстоятельствах оно способно охватить целый континент и перерасти в глобальную проблему.

В настоящее время фоновое загрязнение отдельными элементами и соединениями охватывает целые континенты. К числу загрязнителей относятся парниковые газы, оксиды азота, серы и некоторые другие газообразные соединения. Их постепенное накопление в атмосфере свидетельствует о том, что этим соединениям удалось преодолеть естественный экологический барьер, т. е. биобарьерную мембранную систему, что существующая природная поглотительная емкость атмосферы исчерпана, а естественные природные резервуары — Мировой океан, наземная гидросфера и литосфера — оказались неспособными принять новые дополнительные порции этих веществ.

На постепенно возрастающее накопление парниковых газов в результате хозяйственной деятельности человека наложились крупные пятна локального загрязнения воздуха. Ему оказались подверженными крупные промышленные центры и городские агломерации. Проблема загрязнения крупных промышленных центров возникла в 60-е годы XX в. Это одна из важнейших проблем, прямо влияющая на здоровье людей и состояние сельских и пригородных экосистем. Атмосферный воздух во всех больших городах из-за высокого содержания вредных веществ и смога настолько загрязнен, что ежесуточное вдыхание такого воздуха эквивалентно выкуриванию двух-трех пачек сигарет без фильтра.

На территории России высокое загрязнение атмосферного воздуха (допустимый уровень превышен в десять раз и более) в 1997 г. было зафиксировано в 66 городах, а превышение допустимого уровня по одной или нескольким примесям отмечалось в 187 городах, в которых проживает около 65 млн человек. Несмотря на то что уровень загрязнения воздуха в целом снизился из-за остановки или окрашивания целого ряда производств, по-прежнему в ряде городов средние уровни концентраций загрязняющих веществ остаются высокими. Это связано с неритмичной работой предприятий, отсутствием или низким качеством работы очистных сооружений и залповых выбросов загрязнений. Во многих городах резко возрос выброс загрязняющих веществ вследствие роста количества автомобилей.

Основными источниками загрязнений воздуха являются предприятия тепловой энергетики, черной и цветной металлургии, химической и цементной промышленности, нефте- и газопереработки, транспорт (кроме транспорта, работающего на электрической тяге). Согласно существующим данным, в 150 городах России объем выбросов транспорта превышал объем выбросов промышленных предприятий. В Москве вследствие вывода некоторых пред-

приятый за пределы города и установки на них специальных фильтров, в частности окислителей выхлопных газов, объемы выбросов медленно сокращаются. Выбросы в атмосферу от работы транспорта составляют до 70 % общего объема выбросов.

Каждый индустриальный источник загрязнения выделяет свой специфический набор загрязняющих веществ:

Теплоэнергетика	оксиды углерода, серы, азота, пыль, оксиды металлов
Транспорт	оксиды углерода и азота, углеводороды, тяжелые металлы
Черная металлургия	пыль, диоксид серы, фтористые газы, диоксид углерода, металлы
Нефтепереработка	углеводороды, сероводород, оксиды углерода
Производство цемента	оксиды углерода, пыль

Высокое загрязнение атмосферного воздуха существенно повышает заболеваемость населения. В сельской местности заболеваемость увеличилась на 15 %, а в городах возросла по крайней мере в два раза. В экосистемах на городских территориях и в пригородах накапливаются соединения тяжелых металлов, растительность угнетена или сильно трансформирована. Радиус вредного воздействия предприятий зависит от их производительности и мощности и может достигать десятков километров. Например, вокруг г. Норильска растительность погибла или чрезвычайно трансформирована на расстоянии до 150 км от города, а это северотаежная зона. В окрестностях Братского алюминиевого завода и Братского лесопромышленного комплекса постепенно деградируют лесные экосистемы, в первую очередь высыхают сосны. В окрестностях некоторых центров цветной промышленности на Кольском полуострове практически отсутствует лесная растительность.

В России регулярный государственный учет выбросов загрязняющих веществ, оказывающих вредное воздействие на здоровье человека и окружающую среду, ведется на 25 000 предприятиях. Государственная служба наблюдений за загрязнением окружающей среды России ежегодно измеряет концентрацию вредных веществ в воздухе практически для всех населенных пунктов с населением более 100 тыс. человек.

Основными направлениями защиты приземной атмосферы от загрязнения являются:

санитарно-технологические мероприятия — строительство сверхвысоких труб, установка газопылеочистного оборудования (уловителей, мембран, фильтров), герметизация производственных и технологических процессов, внедрение нового оборудования и т.д. Основная масса очищаемых и улавливаемых веществ — это тонкие твердые частицы. Во многих ведущих странах, в том числе и в

России, в тепловой энергетике, черной и цветной металлургии, химической промышленности улавливается до 90 % пылевых частиц, но уровень газовой очистки до сих пор не превышает 50—60 %;

технологические мероприятия — внедрение малоотходных или безотходных технологий, использование более чистого сырьевого материала, проведение соответствующей очистки сырья, замена старых технологических способов производства на влажные и т.д.; *пространственно-планировочные мероприятия* — выделение санитарно-защитных зон, планировка городской и промышленной застройки с учетом преобладающего направления ветров в данной местности, проведение озеленительных работ и т.д.;

контрольно-запретительные мероприятия — широкое использование в практике предельно допустимых концентраций веществ и предельно допустимых выбросов в окружающую среду, запрещение производства отдельных веществ, временная, частичная или полная остановка производства, загрязняющего воздух, мониторинг выбросов вредных веществ в атмосферу.

В ряде стран утверждены стандарты, ограничивающие допустимые уровни загрязнения. Основным показателем, который применяют в России для качества контроля воздушной и водной среды, являются предельно допустимые концентрации вредных веществ (ПДК). Обычно используют два типа ПДК: показатель в воздухе рабочей зоны (ПДК_{р.з.}) и показатель в атмосферном воздухе населенного пункта (ПДК_{а.р.}).

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

Надо отметить, что во многих случаях содержание вредных веществ при выбросах из трубы предприятия может превышать уровень ПДК, но вследствие очень высокой подвижности атмосферы происходит быстрое перемешивание и рассеивание примесей, часть примесей оседает на почву или, рядом расположенные водоемы. Таким образом, на уровне земной поверхности содержание вредных веществ может оказаться ниже ПДК. Поэтому в природоохранной практике обычно используют норматив, называемый предельно допустимым выбросом (ПДВ). Его устанавливают с таким расчетом, чтобы концентрация загрязняющих веществ в приземном слое воздуха не превышала нормативов качества воздуха для населения, растений и животных. В том случае, если концентрация все же больше, чем ПДК, а снижение ПДВ до необходимых значений не может быть обеспечено по технологическим причинам, устанавливают временно согласованные выбросы (ВСВ).

6.10. Этносферные функции атмосферы

Атмосфера обеспечивает живые организмы Земли необходимым веществом, энергией и определяет направленность и скорость метаболических процессов. Газовый состав современной атмосферы является оптимальным для существования и развития жизни. Будучи областью формирования погоды и климата, атмосфера должна создавать комфортные условия для жизнедеятельности людей, животных и растительности. Отклонения в ту или другую сторону в качестве атмосферного воздуха и погодных условиях создают экстремальные условия для жизнедеятельности животного и растительного мира, в том числе и для человека.

Атмосфера не только обеспечивает условия существования человечества, являясь основным фактором эволюции этносферы. Она в то же время оказывается энергетическим и сырьевым ресурсом производства. В целом атмосфера — это фактор, сохраняющий здоровье человека, а некоторые области в силу физико-географических условий и качества атмосферного воздуха служат рекреационными территориями и являются областями, предназначенными для санаторно-курортного лечения и отдыха людей. Таким образом, атмосфера является фактором эстетического и эмоционального воздействия.

Этносферные и техносферные функции атмосферы, определенные совсем недавно (Е. Д. Никитин, Н. А. Ясаманов, 2001), нуждаются в самостоятельном и углубленном исследовании. Так, весьма актуальным является изучение энергетических атмосферных функций как с точки зрения возникновения и действия процессов, наносящих ущерб окружающей среде, так и с точки зрения воздействия на здоровье и благосостояние людей. В данном случае речь идет об энергии циклонов и антициклонов, атмосферных вихрей, атмосферном давлении и других экстремальных атмосферных явлениях, эффективное использование которых будет способствовать успешному решению проблемы получения не загрязняющих окружающую среду альтернативных источников энергии. Ведь воздушная среда, особенно та ее часть, которая располагается над Мировым океаном, является областью выделения колоссального объема свободной энергии.

Например, установлено, что тропические циклоны средней силы только за сутки выделяют энергию, эквивалентную энергии 500 тыс. атомных бомб, сброшенных на Хиросиму и Нагасаки. За 10 дней существования такого циклона высвобождается энергия, достаточная для удовлетворения всех энергетических потребностей такой страны, как США, в течение 600 лет.

В последние годы было опубликовано большое количество работ ученых естественно-научного профиля, в той или иной мере касающихся разных сторон деятельности и влияния атмосферы на

ные процессы, что свидетельствует об активизации междисциплинарных взаимодействий в современном естествознании. При этом проявляется интегрирующая роль определенных его направлений, среди которых надо отметить функционально-экологическое направление в геоэкологии.

Данное направление стимулирует анализ и теоретическое обобщение информации по экологическим функциям и планетарной роли различных геосфер, а это, в свою очередь, является важной предпосылкой для разработки методологии и научных основ целенаправленного изучения нашей планеты, рационального использования и охраны ее природных ресурсов.

Атмосфера Земли состоит из нескольких слоев: тропосферы, стратосферы, мезосферы, термосферы, ионосферы и экзосферы. В верхней части тропосферы и нижней части стратосферы располагается слой, обогащенный озоном, именуемый озоновым экраном. Установлены определенные (суточные, сезонные, годовые и т. д.) закономерности в распределении озона. Со времени своего возникновения атмосфера влияла на течение планетарных процессов. Первичный состав атмосферы был совершенно иным, чем в настоящее время, но с течением времени неуклонно росли доля и роль молекулярного азота, около 650 млн лет назад появился свободный кислород, количество которого непрерывно повышалось, но соответственно снижалась концентрация углекислого газа. Высокая подвижность атмосферы, ее газовый состав и наличие аэрозолей обуславливают ее выдающуюся роль и активное участие в разнообразных геологических и биосферных процессах. Велика роль атмосферы в перераспределении солнечной энергии и развитии катастрофических стихийных явлений и бедствий. Негативное воздействие на органический мир и природные системы оказывают атмосферные вихри — смерчи (торнадо), ураганы, тайфуны, циклоны и другие явления. Основными источниками загрязнений наряду с природными факторами выступают различные формы хозяйственной деятельности человека. Антропогенные воздействия на атмосферу выражаются не только в появлении различных аэрозолей и парниковых газов, но и в увеличении количества водяных паров, и проявляются в виде смогов и кислотных дождей. Парниковые газы меняют температурный режим земной поверхности, выбросы некоторых газов уменьшают объем озонового экрана и способствуют возникновению озоновых дыр. Велика этносферная роль атмосферы.

Контрольные вопросы

1. Каково строение атмосферы?
2. Что такое страто- и тропопауза?
3. Перечислите слои атмосферы.
4. В чем заключается тепловой баланс атмосферы?
5. Как возникла атмосфера и каковы пути ее эволюции?

6. Что такое «точка Юри» и «точка Пастера»?
7. В чем состоит роль атмосферы в жизнедеятельности органического мира?
8. Какова роль атмосферы в развитии природных процессов?
9. Каким образом распределяется солнечная энергия в атмосфере?
10. Каким образом распределяется влага в атмосфере?
11. В чем заключается эколого-геологическая роль атмосферы?
12. Какова роль циклонов?
13. Чем отличаются воздушные бури от смерчей?
14. В чем заключается катастрофизм гроз и молний?
15. Какие стихийные явления возникают при дефиците влаги?
16. В чем суть антропогенных изменений атмосферы?
17. Что такое смог и какие существуют типы смогов?
18. Что представляют собой кислотные дожди?
19. В чем заключается особенность парникового эффекта?
20. Какова роль озонового слоя и причины его утонения?
21. Каковы биологические последствия озоновых дыр?
22. Какие существуют глобальные сценарии климатических изменений?
23. Что такое «асидификация атмосферы»?
24. Что такое ПДК?
25. Что такое ПДВ?
26. Каковы этносферные функции атмосферы?

Литература

- Бгатов В. И.* История кислорода земной атмосферы. — М., 1986.
Блютген И. География климатов. — М., 1973.
Будыко М. И. Глобальная экология. — Л., 1983.
Будыко М. И., Ронов А. Б., Янишин А. Л. История атмосферы. — М., 1988.
Кан С. Н. Океаны и атмосфера. — М., 1982.
Мизун Ю. Г. Озонные дыры: мифы и реальность. — М., 1993.
Никитин Е. Д., Ясаманов Н. А. Планетарно-геологическая роль и экологические функции земной атмосферы // Жизнь Земли. — М., 2001.
Сывороткин В. Л. Рифтогенез и озоновый слой. — М., 1996.
Ясаманов Н. А. Древние климаты Земли. — М., 1985.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ГИДРОСФЕРЫ

7.1. Общие сведения о гидросфере Земли

В науках о Земле под гидросферой подразумевают прерывистую поверхностную оболочку, состоящую из воды морей и океанов, поверхностных водоемов суши, временных и постоянных водотоков, твердой воды в виде снега и льда. Наряду с поверхностной существует и подземная гидросфера, к которой относятся грунтовые и подземные, в том числе артезианские воды. Общая масса воды в гидросфере оценивается в $2 \cdot 10^{24}$ г. В Мировом океане на ее долю приходится около 67 %, в литосфере — около 30 %, в материковых льдах и подземных водах — чуть более 2 %, а в водоемах суши — около 1 %.

Океаны и моря покрывают почти 71 % поверхности Земли, а вместе с водными объектами суши, к которым относятся ледники, озера, водохранилища, болота, пруды и др., водой покрыто почти 3/4 земной поверхности. Высокая теплоемкость воды и значительная потенциальная энергия ее многочисленных фазовых переходов вместе с огромной площадью зеркала воды имеют большое значение для теплового и водного режимов Земли. Гидросфера вместе с атмосферой являются решающим фактором в почвообразовании и формировании растительного покрова Земли и, следовательно, обуславливают ландшафтный облик планеты. Ее экологические функции показаны на рис. 7.1.

В Мировом океане содержится 96,4 % общего объема гидросферы. Эта огромнейшая масса воды, состоящая из двух слоев — верхнего, относительно теплого, и основного, холодного с температурами 4 °С и ниже, обуславливает термический режим планеты. Мировой океан является глобальным аккумулятором теплоты. Он трансформирует солнечную энергию, аккумулирует ее, а при необходимости, медленно охлаждаясь, отдает часть теплоты в атмосферу. Таким образом, гидросфера играет важнейшую и весьма неоднородную роль в терморегуляции планеты.

На суше основная масса воды сосредоточена в ледниках. В них консервировано 70,3 % всех запасов пресных вод Земли. Благодаря своей высокой отражательной способности (альбедо) ледники являются одним из важнейших современных климатообразующих факторов.

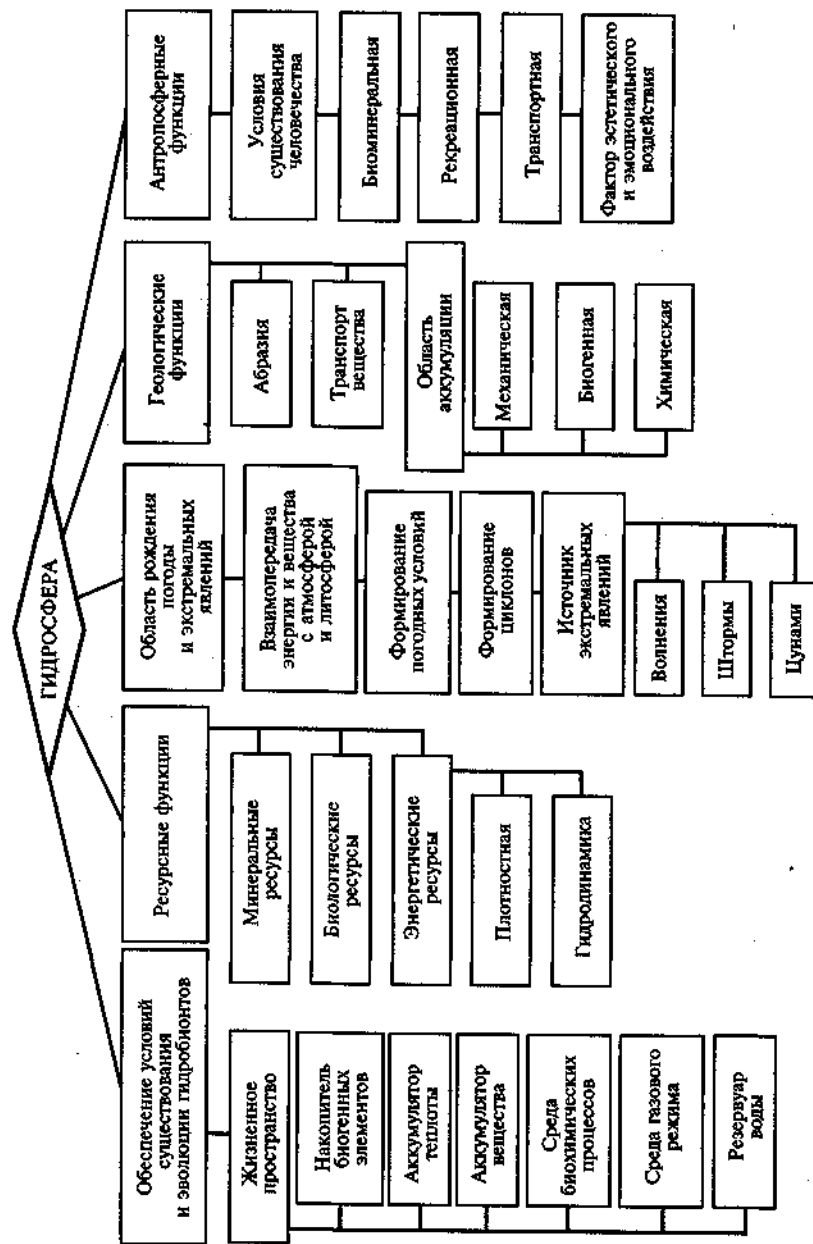


Рис. 7.1. Экологические функции гидросферы

Реки — важнейший компонент гидросферы, характеризующийся высокой скоростью водообмена. Суммарный запас воды в реках Земли составляет всего 0,0002 % общих запасов воды и 0,005 % запасов пресных вод. Реки не только один из важнейших эрозионных, транспортирующих и аккумулятивных геологических факторов, но и один из основных природных резервуаров воды, ресурс которых используется в сельском хозяйстве, промышленности и для питьевых нужд.

Гидросфера играет важнейшую роль в глобальных процессах обмена веществом и энергией. Вода осуществляет эрозию и денудацию горных пород, перенос вещества во взвешенном или растворенном состоянии и отложение продуктов разрушения в областях аккумуляции (долины и устья рек, озера и морские бассейны).

Важнейшим процессом в экосфере является *глобальный круговорот воды*, или *гидрологический цикл*. Он служит основой единства географической оболочки и играет важнейшую роль в обмене веществом и энергией. Под воздействием солнечной энергии вода испаряется с поверхности морей, океанов и поверхностных водоевов суши. Испарившаяся влага включается в процесс атмосферного влагопереноса. При этом часть влаги вновь выпадает в виде атмосферных осадков над Мировым океаном и континентами. С поверхности континентов вода стекает в виде рек в конечные бассейны стока и по пути, в пределах последних, вновь вовлекается во влагооборот.

Глобальный круговорот воды состоит из океанского и материковых звеньев, взаимосвязанных обменом водяного пара между океаном и сушей и стоком с суши в океан. Преобладающая часть выпадающих на сушу осадков испаряется, а остаток воды стекает в океан как в форме речного стока, так и в виде стока подземных вод и отрыва ледников в море. Примерно третья часть вод суши не имеет стока в океан, и реки заканчивают свой путь или в озерах, или бесследно исчезают в бессточных впадинах.

Вода обладает весьма высокой растворяющей способностью. Абсолютно чистой, дистиллированной воды в природе практически не бывает. Природные воды весьма разнообразны по составу и концентрациям химических элементов и играют решающую роль в глобальных геологических, геохимических и биогеохимических процессах.

7.2. Основные особенности Мирового океана

В практику научных исследований термин «Мировой океан» был введен французским ученым-гидрографом Кларэ де Флорие в конце XVIII в. Под этим понятием подразумевается совокупность океа-

нов — Северного Ледовитого, Атлантического, Тихого и Индийского (некоторые исследователи выделяют также Южный океан омывающий берега Антарктиды, однако северные его границы достаточно неопределенные), а также окраинные и внутренние моря. Мировой океан занимает 361 млн км², или 70,8 % площади земного шара.

Мировой океан — это не только вода, но и водные животные и растения, его дно и берега. При этом Мировой океан понимается как самостоятельное целостное образование, объект планетарного масштаба, как открытая динамическая система, которая обменивается веществом и энергией со средами, находящимися с ней в контакте. Этот обмен происходит в форме планетарных круговоротов, в которых участвуют теплота, влага, соли и газы, входящие в состав океанов и материков.

Соленость Мирового океана. По своей структуре морская вода — полностью ионизированный однородный раствор. Его соленость определяется присутствием в растворенном состоянии галоидов, сульфатов, карбонатов натрия, калия, магния и кальция (в ‰):

NaCl	68,085	NaHCO ₃	0,557
MgCl ₂	14,445	KBr	0,278
Na ₂ SO ₄	11,359	H ₃ BO ₃	0,075
CaCl ₂	3,196	SrCl ₂	0,070
KCl	1,926	NaF	0,009

В среднем соленость Мирового океана равна 35 ‰, но колеблется в довольно широких пределах в зависимости от уровня испарения и объемов речного стока. В том случае, когда речной сток в морях преобладает, соленость падает ниже среднего значения. Например, в Балтийском море она равна 6—11 ‰. Если преобладает испарение, то соленость поднимается выше среднего значения. В Средиземном море она колеблется от 37 до 38 ‰, а в Красном море составляет 41 ‰. Самой высокой соленостью обладают Мертвое море и некоторые соленые и горькосоленые озера (Эльтон, Баскунчак и др.).

В океанской воде растворены газы: N₂, O₂, CO₂, H₂S и др. Благодаря высокой горизонтальной и вертикальной гидродинамике, обусловленной разностью температур, плотности и солености, происходит перемешивание атмосферных газов. Изменение их содержания связано с жизнедеятельностью организмов, подводным вулканизмом, химическими реакциями в толще воды и на дне, а также интенсивностью выноса взвешенного или растворенного вещества с материков.

Для некоторых полузамкнутых частей Мирового океана — Черного моря или Оманского залива — характерно сероводородное заражение, которое распространяется с глубин 200 м. Причиной такого заражения являются не только ювенильные газы, но и хи-

мические реакции, приводящие к восстановлению сульфатов, которые происходят в осадках с участием анаэробных бактерий.

Большое значение для жизнедеятельности морских организмов имеет прозрачность воды, т. е. глубина проникновения солнечного света на глубину. Прозрачность зависит от взвешенных в воде минеральных частиц и объема микропланктона. За условную прозрачность океанской воды принимают глубину, на которой белый диск, так называемый диск Секки, диаметром 30 см становится невидимым. Условная прозрачность (м) частей Мирового океана различна:

Арабское море	66,5	Черное море	28,0
Средиземное море	60,0	Балтийское море	13,0
Тихий океан	59,0	Белое море	8,0
Индийский океан и Красное море	50,0		

Температурный режим Мирового океана. Определяется температурный режим океана поглощением солнечной радиации и испарением водяного пара с его поверхности. Средняя температура Мирового океана равна 3,8 °С, максимальная, 33 °С, установлена в Персидском заливе, а минимальные температуры -1,6; -1 °С характерны для полярных областей.

На различных глубинах океанских вод располагается квазиоднородный слой, который характеризуется почти одинаковыми температурами. Ниже него находится сезонный термоклин. Перепад температур в нем в период максимального нагревания достигает 10—15 °С. Под сезонным термоклином залегает главный термоклин, охватывающий основную толщу океанских вод с перепадом температур в несколько градусов. Глубина залегания термоклина в разных частях одного и того же океана не одинакова. Это зависит не только от температурных условий в приповерхностной части, но и от гидродинамики и солености вод Мирового океана.

К океанскому дну примыкает придонный пограничный слой, в котором зафиксированы низкие температуры, меняющиеся в зависимости от географического положения от 0,3 до -2 °С.

В зависимости от температур меняется плотность океанской воды. Ее средняя плотность в поверхностных областях составляет 1,02 г/см³. С глубиной по мере понижения температуры и увеличения давления плотность возрастает.

Течения Мирового океана. В результате действия сил Кориолиса, разности температур, колебания атмосферного давления, взаимодействия с подвижной атмосферой возникают течения, которые подразделяются на дрейфовые, градиентные и приливные. Кроме них для океана характерны синоптические вихри, сейши и цунами.

Дрейфовые течения образуются под действием ветра в результате трения воздушного потока о водную поверхность. Направление течения составляет с направлением ветра угол 45°, что

определяется влиянием сил Кориолиса. Характерной особенностью дрейфовых течений является постепенное затухание их интенсивности с изменением глубины.

Градиентные течения возникают в результате образования наклона уровня воды под действием ветра, дующего длительное время. Максимальный наклон наблюдается вблизи берегов. Он создает градиент давления, который приводит к появлению сгонного или нагонного течения. Градиентные течения захватывают всю толщу воды, вплоть до дна.

В Мировом океане существуют бароградиентные и конвекционные течения. Бароградиентные возникают в результате различия атмосферного давления в циклонах и антициклонах над разными участками Мирового океана. Конвекционные течения образуются из-за различия плотности морской воды на одной и той же глубине, создавая горизонтальный градиент давления.

В окраинных морях и в пределах морских мелководий существуют приливные течения. Они возникают в результате воздействия на толщу воды гравитационных полей Земли, Луны и Солнца, а также центробежной силы вращения Земли и сил Кориолиса.

В определенных областях Мирового океана обнаружены стационарные вихреобразные возмущения воды диаметром до 400 км. Они нередко охватывают всю толщу воды и достигают дна. Скорость их составляет несколько сантиметров в секунду. Среди них выделяют фронтальные вихри, возникающие при отсечении изгибов и завихрений от основного потока, и вихри открытого океана.

Цунами — волны, вызванные землетрясениями на морском или океанском дне. Длина волны составляет от нескольких десятков до сотен километров с периодом от 2 до 200 мин и скоростью в открытом океане до 1000 км/ч. В открытом океане волны цунами бывают высотой около метра и могут быть даже не замечены. Однако в мелководьях и у берегов высота волн достигает 40—50 м.

Сейши — стоячие волны замкнутых водоемов, характерны только для внутренних морей. Вода в них колеблется с амплитудой до 60 м. Причинами сейш являются приливные явления или сильный ветер, приводящий к сгонам и нагонам, а также резкие изменения атмосферного давления.

Волновые движения. Высота волны измеряется расстоянием по вертикали между ложбиной и гребнем волны. Высота большинства океанских волн меньше 3 м и лишь некоторые достигают 6-метровой высоты. Штормовые волны в районе Великобритании имеют высоту 10 м, а в антарктических водах — 16 м.

Длина волны, соответствующая расстоянию по горизонтали между соседними гребнями, меняется от одного метра в относительно спокойных условиях до нескольких сотен метров в местах зарождения штормовых волн. При выходе из района шторма высо-

кие волны постепенно уплощаются, длина их увеличивается и в конце концов они превращаются в зыбь. Длина волн зыби может колебаться от 300 до 600 м.

Глубина проникновения волн зависит от размера круговых орбит или высоты волн и соотношения между глубиной водоема и длиной волны. С увеличением глубины волновое движение быстро уменьшается, и на глубине, равной половине длины волны, оно становится слабым.

Волны в зависимости от их высоты и длины обладают огромной силой. Средняя волна высотой около 2 м оказывает давление около 15 000 Па (15 т/м²). Хотя максимальное давление длится лишь доли секунды, но удары волны повторяются с определенной периодичностью, поэтому разрушительная способность волн очень велика.

Скорость волны на мелководье уменьшается вследствие трения о дно при глубинах меньше половины длины волны. Волны постепенно укорачиваются, становятся выше и круче до тех пор, пока их гребни не запрокидываются и обрушиваются. В конце концов они распадаются на беспорядочные прибойные волны или буруны.

Рельеф дна океанов. Средняя гипсографическая кривая земной поверхности показана на рис. 7.2. В зависимости от глубины выделяют следующие батиметрические зоны: литораль, или приливно-отливную зону — прибрежную область с глубинами в несколько метров; неритовую — до глубины 200 м; батинальную — до глубины

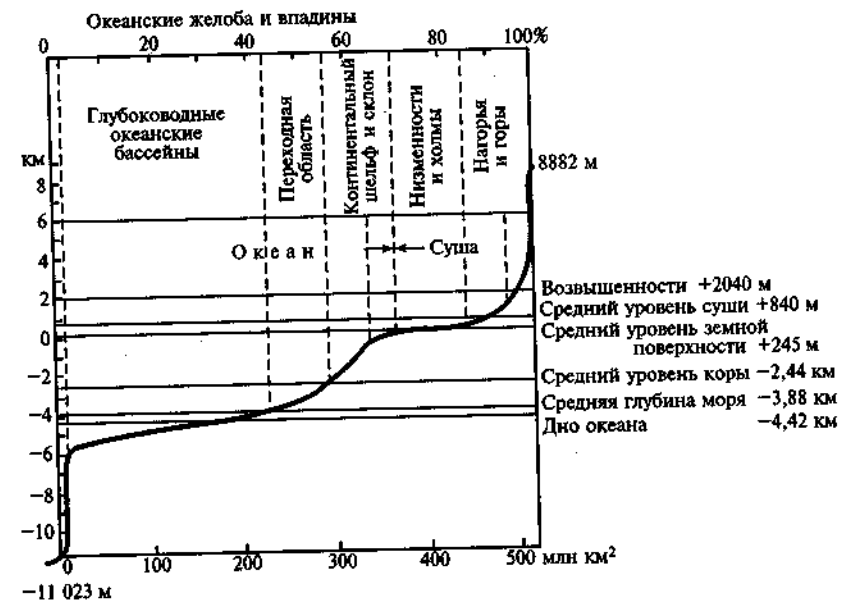


Рис. 7.2. Гипсографическая кривая поверхности земной коры

3000 м; абиссальную — с глубинами от 3000 до 6000 м и гилабиссальную — более 6000 м. Основными элементами рельефа дна Мирового океана являются следующие. До глубин 200 м располагается материковая *отмель*, или *шельф*. Далее следует крутой участок, соответствующий *материковому склону*. Выровненные области глубоководной части океана соответствуют *ложу океана*. В его пределах и по окраинам располагаются *глубоководные желоба*. Само ложе осложнено вулканическими *подводными горами*, *гайотами*, *возвышенностями* и *равнинами*. Кроме них в пределах Мирового океана выделяются глобальная система *срединных океанских хребтов* с узкими *рифтовыми долинами* и *островные дуги*.

Биопродуктивность Мирового океана. Биопродуктивность определяется биомассой животных, водных растений и микроорганизмов, живущих в толще воды. Суммарная биомасса в Мировом океане превышает $3,9 \cdot 10^9$ т. Из них на шельфе содержится около $0,27 \cdot 10^9$ т, в зарослях коралловых рифов и водорослях — $1,2 \cdot 10^9$ т, в эстуариях — $1,4 \cdot 10^9$ т, а в открытом океане — $1 \cdot 10^9$ т. В Мировом океане находится около 6 млн т растительного вещества, главным образом в виде фитопланктона, и около 6 млн т зоопланктона. Максимальной биопродуктивностью обладают мелководья и подводные морские дельты, располагающиеся в тропических областях. Значительную биологическую продуктивность имеют места выхода на поверхность океанов подводных течений, выносящих с глубин более 200 м воды, обогащенной фосфатами, нитратами и другими солями. Эти области называются зонами апвеллинга. В местах выхода таких течений, как, например, в Бенгельском заливе, вдоль побережий Перу, Чили и Антарктиды, бурно развивается зоопланктон.

Биоресурсы. Минимальной биомассой обладают глубоководные котловины и глубоководные желоба. Из-за затрудненного водообмена здесь возникают застойные области, а питательные вещества содержатся в минимальных количествах.

В Мировом океане сосредоточены все три основных комплекса животного и растительного мира океанов — нектон, бентос и планктон. По значению и масштабам использования ведущее место занимает *нектон*. В его биомассе преобладают (до 85%) рыбы. Около 10—15% общей массы нектона приходится на долю нектонных головоногих моллюсков, главным образом на кальмаров. Некоторые ракообразные представлены преимущественно креветками. Морские млекопитающие — киты и ластоногие — составляют менее 5% всей биомассы нектона.

В сравнительно небольшом объеме используется *бентос*. Среди зообентоса хозяйственной ценностью обладают некоторые виды двустворчатых моллюсков (мидии, устрицы, гребешки). Широко используются ракообразные (крабы, омары, лангусты) и иглокожие (морские ежи). Из фитобентоса практическое применение на-

ходят некоторые представители бурых, красных и зеленых водорослей и высшие цветковые водные растения.

К *планктону* относят диатомовые водоросли, некоторые моллюски и ракообразные. С недавних пор стали использовать один из видов ракообразных — криль.

Живые ресурсы могут восстанавливаться естественным и искусственным путем. Биологическим ресурсам свойственна «подвижность» сырьевой базы. Морские животные на разных фазах своего жизненного цикла — нереста, откорма и зимовки — нуждаются в разных условиях среды. В связи с этим им приходится совершать соответствующие миграции, которые происходят как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Миграции могут быть сезонными или суточными. Морские биологические ресурсы, а следовательно, и их сырьевая база непостоянны. Это связано с пространственно-временными изменениями условий обитания организмов. Сезонность предопределяет соответственно разные возможности и условия их добычи.

Минеральные ресурсы Мирового океана. Эти ресурсы представлены различными полезными ископаемыми и подразделяются на

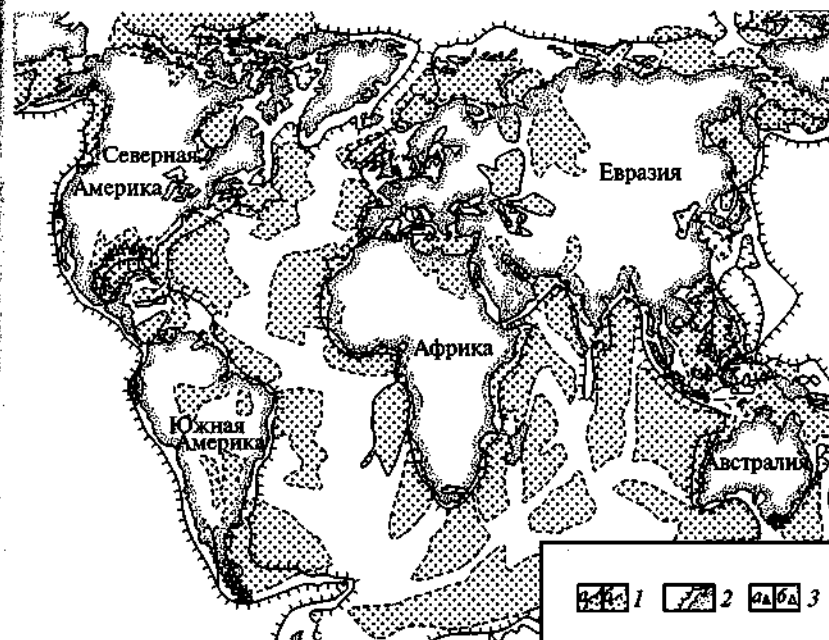


Рис. 7.3. Нефтегазоносные бассейны и перспективные территории месторождений нефти и газа впадин Мирового океана:

1 — установленные (а) и предполагаемые (б) границы нефтегазоносных бассейнов; 2 — край материковой отмели; 3 — месторождения нефти (а) и газа (б)

потенциальные и выявленные. К числу минеральных ресурсов относятся:

нефть и газ, которые приурочены к обширным шельфам и континентальному склону (рис. 7.3);

газогидраты. Запасы метана на океанских шельфах оцениваются в десятки триллионов тонн, что во много раз превышает запасы газа на суше. Мощность газогидратного слоя составляет несколько десятков метров. Он распространен на глубине 200 м от поверхности дна;

железомарганцевые конкреции и железомарганцевые корки. Наиболее крупные скопления находятся в глубоководных котловинах Тихого океана (рис. 7.4). В настоящее время обсуждаются проблемы их добычи;

сульфидные руды, приуроченные к подводным «курильщикам». Последние парагенетически связаны с рифтами срединно-океанских хребтов и поднятиями задуговых бассейнов;

металлоносные осадки и металлоносные рассолы, представляющие собой руды марганца, меди, полиметаллов. Такого рода об-

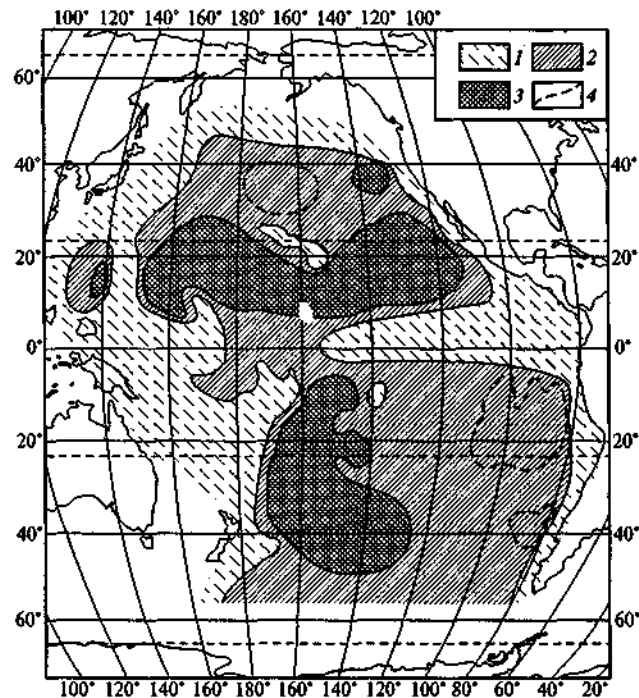


Рис. 7.4. Схематическая карта распределения железомарганцевых конкреций на дне Тихого океана:

1 — редко встречающиеся; 2 — часто встречающиеся; 3 — рудные концентрации; 4 — контуры рудных накоплений под слоем рыхлых осадков

разования обнаружены на дне Красного моря, в пределах Восточно-Тихоокеанского поднятия, в области тройного сочленения срединно-океанских хребтов в Индийском океане;

фосфориты, залежи которых встречаются вдоль побережий океанов на глубинах 200—1500 м. Они приурочены к глубокой части шельфа и континентальному склону, но встречаются также в глубоководных котловинах окраинных морей;

россыпные месторождения олова, золота, титана, циркона, рутила. Они приурочены к подводным дельтам и распространены в пределах шельфа;

строительные материалы — галька, песок и карбонаты, ракуша.

За исключением нефти и газа, а также россыпей и строительных материалов, остальные месторождения полезных ископаемых на дне Мирового океана представляют собой потенциальное сырье XXI в. В настоящее время разрабатываются проекты добычи и последующего обогащения полезных ископаемых Мирового океана.

Сама морская вода является потенциальным ресурсом для государств, располагающихся на его берегах. Из морской воды добывают ряд химических соединений, находящихся в растворенном состоянии, а также получают чистую воду путем ее опреснения. Воду получают и из айсбергов, транспортируемых из антарктических регионов.

Из морской воды добывают поваренную соль, магний, серу, а из устричных скоплений — карбонат кальция.

Кроме того, Мировой океан является источником получения энергии. Он обладает как кинетической энергией в форме приливов, течений и волн, так и потенциальной, связанной с разницей уровня поверхности океана в разных его частях и тепловой энергии, основанной на разности температур различных слоев Мирового океана.

7.3. Экологические функции Мирового океана

Весьма разнообразные и обширные экологические функции Мировой океан выполняет путем активного взаимодействия водной среды с атмосферой, литосферой, материковым стоком и с населяющими его просторы организмами.

В результате взаимодействия с атмосферой осуществляется обмен энергией и веществом, в частности кислородом и углекислым газом. Наиболее интенсивный кислородный обмен в системе океан — атмосфера происходит в умеренных широтах.

Мировой океан обеспечивает жизнь населяющим его организмам, давая им тепло и пищу. Каждый представитель этих весьма обширных экосистем (планктон, нектон и бентос) развивается в зависимости от температурного, гидродинамического режимов и

наличия питательных веществ. Характерный пример прямого воздействия на жизнь морской биоты — температурный фактор. У многих морских организмов сроки размножения приурочены к определенным температурным условиям. На жизнь морских животных прямое влияние оказывает не только наличие света, но и гидростатическое давление. В океанских водах оно увеличивается на одну атмосферу на каждые 10 м глубины. У обитателей больших глубин исчезает пестрота окраски, они становятся однотонными, утончается скелет, а с определенных глубин (глубже 4500 м) полностью исчезают формы с известковой раковиной, которые заменяются организмами с кремнеземным или органическим скелетом. Сильно влияют на жизнь и распределение морской биоты поверхностные и глубинные течения.

Динамика вод Мирового океана — одна из составляющих частей экологической функции Мирового океана. Деятельность поверхностных и глубинных течений связана с различным температурным режимом и с характером распределения поверхностных и придонных температур, особенностями солёности, плотности и гидростатического давления. Землетрясения, цунами вместе с штормами и сильными волновыми перемещениями воды участвуют в широко распространенной морской абразии береговых областей. Подводные гравитационные процессы, а также подводная вулканическая деятельность совместно с подводной гидродинамикой формируют рельеф дна Мирового океана.

Велика ресурсная роль Мирового океана. Сама по себе морская вода независимо от степени ее солёности является природным сырьем, которое в разных формах используется человечеством. Мировой океан — своеобразный аккумулятор теплоты. Медленно нагреваясь, он медленно отдает теплоту и тем самым является важнейшим компонентом климатообразующей системы, в которую, как известно, входят атмосфера, биосфера, криосфера и литосфера.

Часть кинетической и тепловой энергии Мирового океана принципиально доступна для использования в хозяйственной деятельности людей. Кинематической энергией обладают волны, приливы и отливы, морские течения, вертикальные перемещения вод (апвеллинги). Они составляют энергетические ресурсы, и, следовательно, Мировой океан является энергетической базой, которая постепенно осваивается человечеством. Начато использование энергии приливов и сделана попытка применить энергию волн и морского прилива.

Ряд приморских государств, расположенных в аридных областях и испытывающих дефицит в пресной воде, возлагают большие надежды на опреснение морской воды. Существующие опреснительные установки энергоёмки и поэтому для их работы получают электроэнергию на атомных станциях. Технологии опреснения морских вод достаточно дороги.

Мировой океан — глобальная среда обитания живых организмов. Морские гидробионты обитают от поверхности до самых больших глубин. Организмы населяют не только водную толщу, но и дно морей и океанов. Все они представляют биологические ресурсы. Однако человечеством используется лишь незначительная часть органического мира океана. Биологические ресурсы Мирового океана — это лишь те немногие группы морских обитателей, добыча которых в настоящее время экономически оправдана. К ним относятся рыбы, морские беспозвоночные (двусторчатые, головоногие и брюхоногие моллюски, ракообразные и иглокожие), морские млекопитающие (китообразные и ластоногие), а также водоросли.

Многие регионы Мирового океана от шельфовой зоны до абиссальных глубин обладают разнообразными полезными ископаемыми. В число минеральных ресурсов Мирового океана входят твердые, жидкие и газообразные полезные ископаемые, залегающие в прибрежной полосе суши, на дне и в недрах под дном Мирового океана. Они возникли в разных геодинамических и физико-географических условиях. Основными из них являются прибрежные россыпи титана-магнетита, циркония, монацита, касситерита, самородных золота, платины, хромита, серебра, алмазов, залежи фосфоритов, серы, нефти и газа, железомарганцевых конкреций.

Взаимодействие поверхности Мирового океана с такой подвижной оболочкой, какой является атмосфера, приводит к возникновению погодных явлений. Над океанами рождаются циклоны, которые переносят влагу на континенты. В зависимости от места своего рождения циклоны делятся на циклоны тропических и внетропических широт. Самыми подвижными являются тропические циклоны, которые нередко становятся источниками сильных стихийных бедствий, охватывающих обширные регионы. К ним относятся тайфуны и ураганы.

Мировой океан в силу своих физико-географических особенностей, минерального состава вод и равномерного распределения температур и воздушной влаги играет рекреационную роль. Морской воздух благодаря высокому содержанию определенных ионов и морская вода, которая по своему химическому составу близка к составу плазмы крови, играют большую лечебную роль. Благодаря бальнеологическим и микроминеральным качествам морские акватории служат прекрасным местом отдыха и лечения людей.

7.4. Геологические воздействия и экологические последствия природных процессов в Мировом океане

Морские волны разрушают берег, переносят и откладывают обломочный материал. Абразия скальных и рыхлых горных пород, слагающих побережья, связана с дрейфовыми и приливно-отлив-

ными течениями. Волны непрерывно подтачивают и разрушают прибрежные скалы. Во время штормов на берег обрушиваются колоссальные массы воды, образующие всплески и буруны высотой в несколько десятков метров. Сила удара волн такова, что они способны разрушить и переместить на некоторое расстояние берегоукрепляющие сооружения (волнорезы, волноломы, бетонные блоки) массой в сотни тонн. Сила удара волн во время шторма достигает нескольких тонн на каждый квадратный метр. Такие волны не только разрушают и дробят скальные породы и бетонные сооружения, но и перемещают блоки скал массой в десятки и сотни тонн.

Менее впечатляющее из-за своей длительности, но сильное воздействие на берег оказывают повседневные заплески волн. В результате почти непрерывного действия волн в основании берегового склона образуется волноприбойная ниша, углубление которой приводит к обвалу пород карниза.

Вначале глыбы разрушенного карниза медленно сползают к морю, а затем распадаются на отдельные фрагменты. Крупные глыбы еще некоторое время остаются у подножия, и набегающие волны их дробят и преобразуют. В результате длительного воздействия волн у берега образуется площадка, покрытая окатанными обломками — галькой. Возникает береговой (волноприбойный) уступ, или клиф, а сам берег в результате размыва отступает в глубь суши. В результате действия волн образуются волноприбойные гроты, каменные мосты или арки и глубокие расселины.

Массивы прочных пород, отчленившиеся от суши в результате размыва, крупные фрагменты морских берегов превращаются в морские утесы или столбовидные скалы. По мере того как эрозия, разрушая и удаляя породы берега, продвигается в глубь суши, береговой откос, по которому катятся волны, расширяется и превращается в плоскую поверхность, называемую волноприбойной террасой. При отливе она обнажается, и на ней видны многочисленные неровности — ямы, рвы, холмы, скальные рифы.

Валуны, гальки и песок, обязанные своим происхождением действию волн и служащие причиной волновой эрозии, со временем сами подвергаются эрозии. Они истираются друг о друга, приобретая округлую форму и уменьшаясь в размерах.

В зависимости от длительности и силы волнения скорость размыва и отодвигания берега различна. Например, на западном побережье Франции (полуостров Медок) берег отодвигается от моря со скоростью 15—35 м/год, в районе Сочи — 4 м/год. Ярким примером воздействия моря на сушу является остров Гельголанд в Северном море. В результате волновой эрозии его периметр сократился с 200 км, а таким он был в 900 г., до 5 км в 1900 г. Таким образом, площадь его за тысячу лет уменьшилась на 885 км² (ежегодная скорость отступления составила 0,9 км²).

Разрушение берегов происходит при перпендикулярном направлении волн к берегу. Чем меньше угол или сильнее изрезанность берега, тем меньше морская абразия, которая уступает место аккумуляции обломочного материала. Галька и песок накапливаются на мысах, ограничивающих входы в заливы и бухты, и в местах существенного снижения действия волн. Начинают формироваться косы, постепенно перегораживающие вход в залив. Затем они превращаются в пересыпь, отшнуровывающую залив от открытого моря. Возникают лагуны. Примерами могут служить Арабатская стрелка, отделяющая Сиваш от Азовского моря, Куршская коса у входа в Рижский залив и др.

Береговые осадки накапливаются не только в форме кос, но и в виде пляжей, баров, барьерных рифов и волнонамывных террас.

Контроль за эрозией берегов и осадконакоплением в береговой зоне представляет собой одну из актуальных проблем защиты морских побережий, особенно тех из них, которые освоены человеком и используются как в качестве курортных зон, так и в качестве портовых сооружений. Для того чтобы предотвратить морскую эрозию и повреждение портовых сооружений, возводят искусственные сооружения, сдерживающие активность волн и прибрежных течений. Защитные стенки, перемычки, облицовка, волнорезы, дамбы хотя и ограничивают воздействие штормовых волн, но иногда сами нарушают существующий гидрологический режим. При этом в одних местах берега неожиданно размываются, а в других начинает накапливаться обломочный материал, который резко снижает судходность. В ряде мест осуществляется искусственное пополнение пляжей песком. Специальные конструкции, сооружаемые в зоне миграции пляжей перпендикулярно берегу, успешно используются для наращивания песчаного пляжа. Знание гидрологического режима дало возможность соорудить замечательные песчаные пляжи в Геленджике и Гаграх, от размыва в свое время был спасен пляж на мысе Пицунда. Обломки горных пород для искусственного намывания берега сбрасывались в море в определенных точках, а затем самими волнами транспортировались вдоль берега, накапливаясь и постепенно превращаясь в гальку и песок.

При всем своем положительном воздействии искусственное намывание берегов таит в себе и отрицательные стороны. Сбрасываемые песок и галька, как правило, добываются в непосредственной близости от побережья, что в конечном счете отрицательно сказывается на экологическом состоянии региона. Добыча в 70-е годы XX в. гальки и песка для строительных нужд привела к частичному разрушению Арабатской стрелки, что повлекло за собой увеличение солености Азовского моря и, как следствие, вызвало сокращение и даже исчезновение отдельных представителей морской фауны.

В свое время большое внимание уделялось проблеме залива Кара-Богаз-Гол. Понижение уровня Каспийского моря напрямую связывалось с большим объемом испарения в этом заливе. Считалось, что только постройка плотины, закрывающей доступ воды в залив, способна спасти Каспийское море. Однако плотина не только не привела к повышению уровня Каспийского моря (уровень моря стал расти по другим причинам и задолго до возведения плотины), но и нарушила баланс между притоком и испарением морской воды. Это, в свою очередь, вызвало осушение залива, изменило процессы образования уникальных месторождений самоосадочных солей, привело к дефляции высушенной солевой поверхности и разносу солей на огромные расстояния. Соль была обнаружена даже на поверхности ледников Тянь-Шаня и Памира, что вызвало усиленное их таяние. Вследствие широкого разноса солей и чрезмерного полива стали дополнительно засоляться орошаемые земли.

Происходящие на дне Мирового океана эндогенные геологические процессы, выраженные в форме извержений подводных вулканов, землетрясений и в виде «черных курильщиков», отражаются на его поверхности и прилегающих берегах в форме береговых наводнений и формирования подводных гор и возвышенностей. После грандиозных подводных обвалов, подводных землетрясений и извержений вулканов в открытом океане в эпицентре землетрясений и мест извержений или подводных обвалов возникают своеобразные волны — цунами. От места своего возникновения цунами расходятся со скоростью до 300 м/с. В открытом океане такая волна, имея большую длину, может быть совсем незаметной. Однако при подходе к берегу с уменьшением глубины высота и скорость цунами вырастают. Высота волн, обрушивающихся на берега, достигает 30—45 м, а скорость — почти 1000 км/ч. При таких параметрах цунами разрушают береговые сооружения и приводят к большим человеческим жертвам. Особенно часто действием цунами подвергаются побережье Японии, западное побережье Тихого и Атлантического океанов. Типичным примером разрушительного воздействия цунами стало знаменитое Лиссабонское землетрясение в 1775 г. Его эпицентр находился под дном Бискайского залива вблизи г. Лиссабон. В начале землетрясения море отступило, но затем огромная волна высотой 26 м обрушилась на берег и затопила побережье на ширину до 15 км. Только в гавани Лиссабона было затоплено свыше 300 судов.

Волны Лиссабонского землетрясения прошли через весь Атлантический океан. У Кадикса их высота достигала 20 м, но у берегов Африки (Танжер и Марокко) — 6 м. Подобные волны через некоторое время достигли берегов Америки.

Как известно, море постоянно меняет свой уровень, и особенно это заметно на береговых уступах. Различают короткопериодиче-

ские (минуты, часы и сутки) и долгопериодические (от десятков тысяч до миллионов лет) колебания уровня Мирового океана.

Короткопериодические колебания уровня моря обусловлены преимущественно динамикой волн — волновыми движениями, градиентными, дрейфовыми и приливно-отливными движениями. Наиболее негативными в экологическом отношении являются нагонные наводнения. Самые известные среди них — нагонные наводнения в Санкт-Петербурге, возникающие во время сильных западных ветров в Финском заливе, которые задерживают сток воды из Невы в море. Подъем воды выше ординара (выше нулевой отметки на водомерной рейке, показывающей средний многолетний уровень воды) происходит довольно часто. Один из самых значительных подъемов воды произошел в ноябре 1824 г. В это время уровень воды поднялся на 410 см выше ординара.

Чтобы приостановить отрицательное воздействие нагонного наводнения, было начато строительство защитной дамбы, перегородившей Невскую губу. Однако задолго до окончания стройки выявились ее негативные стороны, повлекшие изменения в гидрологическом режиме и накопление в иловых осадках загрязняющих веществ.

Долгопериодические изменения уровня моря связаны с изменениями общего количества воды в Мировом океане и проявляются во всех его частях. Их причинами являются возникновение и последующее таяние покровных ледников, а также изменения объема чаши Мирового океана как следствие тектонических движений. Разномасштабные и разновозрастные изменения уровня Мирового океана установлены в результате палеогеографических реконструкций. На геологическом материале выявляют глобальные трансгрессии (наступление) и регрессии (отступление) морей и океанов. Их экологические последствия носили негативный характер, так как менялись условия жизни организмов и сокращались пищевые ресурсы.

В период похолодания в начале четвертичного периода огромный объем морских вод был изъят из Северного Ледовитого океана. При этом выступившие на земную поверхность шельфы северных морей оказались покрыты ледниковым панцирем. После голоценового потепления и таяния ледникового покрова шельфы северных морей вновь были заполнены, а в понижениях рельефа возникли Белое и Балтийское моря.

Большие экологические последствия в результате колебаний уровня моря заметны на побережьях Черного, Азовского и Каспийского морей. В Сухумской бухте затоплены постройки греческой колонии Диоскурии, на дне у берегов Таманского полуострова в Крыму находят греческие амфоры, а у северного побережья Азовского моря обнаружены затопленные скифские курганы. Признаки погружения берегов выражены на западном побережье Чер-



Рис. 7. Колебания уровня океана в плейстоцене и положение средиземноморских террас относительно современного уровня

ного моря. Здесь под водой обнаружены римские постройки, сооруженные около 3 тыс. лет до н. э., а также стоянки раннеолитового человека. Все эти погружения связаны с послеледниковым подъемом уровня моря в результате энергичного таяния ледниковых масс.

Особенно хорошо зафиксированы подъемы и опускания уровня моря при изучении террас Средиземноморья (рис. 7.5).

Относительное поднятие уровня воды приводит к подтоплению приморских районов. Это обусловлено подпором и поднятием грунтовых вод. Подтопление вызывает разрушение фундаментов и затопление подвальных помещений в городах, а в сельских местностях приводит к переувлажнению, засолению и заболачиванию почв. Именно такой процесс в настоящее время происходит в побережье Каспийского моря, уровень которого повышается в некоторых случаях трансгрессии на ограниченных территориях из-за хозяйственной деятельности человека. Одной из причин начавшегося затопления г. Венеции в 70—80-х годах XX в. водами Адриатического моря считается опускание морского дна, вызванное просадками из-за откачки пресных подземных вод.

7.5. Глобальные и региональные экологические последствия в Мировом океане в результате антропогенной деятельности

Активная хозяйственная деятельность человека коснулась и Мирового океана. Во-первых, человечество стало использовать воды внутренних и окраинных морей и океанские просторы в качестве транспортных магистралей, во-вторых, в качестве источника пищи и минеральных ресурсов, а в-третьих, в качестве хранили-

ща твердых и жидких химических и радиоактивных отходов. Все вышеперечисленные действия породили множество экологических проблем, и некоторые из них оказались трудноразрешимыми. Кроме того, Мировой океан как глобальный природный комплекс с более замкнутой системой, чем суша, стал своего рода отстойником различных взвесей и растворенных соединений, выносимых с континентов. Произведенные на материках в результате хозяйственной деятельности стоки и вещества вносятся поверхностными водами и ветрами во внутренние моря и океаны.

Согласно международной практике, примыкающая к суше часть Мирового океана разделяется на территории, обладающие различной государственной юрисдикцией (рис. 7.6). От внешней границы внутренних вод выделяют зону территориальных вод протяженностью 12 миль. От нее протягивается 12-мильная прилегающая зона, которая вместе с территориальными водами имеет ширину 24 мили. От внутренних вод в сторону открытого моря простирается 200-мильная экономическая зона, являющаяся территорией суверенного права приморского государства на разведку, разработку, сохранение и воспроизводство биологических и минеральных ресурсов. Государство вправе сдавать в аренду свою экономическую зону.

В настоящее время происходит интенсивное освоение экономической зоны Мирового океана. Ее площадь составляет около 35 % площади акватории всего Мирового океана. Именно эта территория испытывает максимальную антропогенную нагрузку со стороны приморских государств.

Ярким примером непрекращающегося загрязнения может служить Средиземное море, которое омывает сушу 15 государств с различным уровнем развития промышленности. Оно превратилось в огромное хранилище промышленных и бытовых отходов и сточных вод. С учетом того, что вода в Средиземном море обновляется через каждые 50—80 лет, при современных темпах сброса сточных вод его существование как сравнительно чистого и безопасного бассейна может полностью прекратиться уже через 30—40 лет.

Большим источником загрязнения являются реки, которые вместе с взвешенными частицами, образованными от размыва пород суши, вносят большой объем загрязняющих веществ. Только Рейн в территориальные воды Голландии выносит ежегодно 35 тыс. м³ твердых отходов, 10 тыс. т химикатов (солей, фосфатов и ядовитых веществ) (М. К. Бахтеев, 1977).

В Мировом океане осуществляется гигантский по своим масштабам процесс биоизвлечения, биоаккумуляции и биоседиментации загрязняющих веществ. Непрерывно работают его гидрологические и биогенные системы и благодаря этому осуществляется биологическое очищение вод Мирового океана. Морская экосистема динамична и довольно устойчива к умеренному антропогенному воздействию. Способность ее возвращаться к начальному со-



Рис. 7.6. Экономические зоны Мирового океана

стоянию (гомеостазу) после стрессовой ситуации — результат многих адаптивных процессов, включая и мутационные. Благодаря гомеостазу процессы разрушения экосистем на первом этапе оказываются незамеченными. Однако гомеостаз не в состоянии предотвратить долгопериодические изменения эволюционного характера или противостоять мощному антропогенному воздействию. Только длительные наблюдения за физическими, геохимическими и гидробиологическими процессами дают возможность оценить, в каком направлении и с какой скоростью происходит разрушение морских экосистем.

Определенную роль в загрязнении территориальных вод играют и рекреационные зоны, к которым относят как природные, так и искусственно создаваемые территории, традиционно используемые для отдыха, лечения и развлечения. Высокая антропогенная нагрузка этих территорий существенно меняет чистоту воды и ухудшает бактериальную ситуацию прибрежных вод, что способствует распространению различных заболеваний, в том числе и эпидемических.

Наибольшую опасность для гидробионтов представляют нефть и нефтепродукты. Ежегодно разными путями в Мировой океан поступает свыше 6 млн т нефти. Со временем нефть проникает в толщу воды, накапливается в донных отложениях и влияет на все

группы организмов. Более 75 % нефтяного загрязнения возникает из-за несовершенства добычи, транспортировки и переработки нефти. Однако наибольший вред наносят аварийные разливы нефти. Особую опасность представляют катастрофы на стационарных и плавучих буровых установках, ведущих разработку морских нефтегазовых месторождений, а также аварии танкеров, перевозящих нефтепродукты. Одна тонна нефти способна покрыть тонким слоем площадь воды 12 км². Нефтяная пленка не пропускает солнечные лучи и препятствует фотосинтезу. Животные, попавшие в пленку нефти, не способны от нее освободиться. Особенно часто гибнет фауна в прибрежных водах.

Нефтяное загрязнение носит ярко выраженный региональный характер. Самая низкая концентрация нефтяного загрязнения наблюдается в Тихом океане (0,2—0,9 мг/л). Индийский океан имеет самый высокий уровень загрязнения: в отдельных районах концентрация достигает 300 мг/л. Средняя концентрация нефтяного загрязнения в Атлантике 4—5 мг/л. Особенно сильно загрязнены нефтью мелководные окраинные и внутренние моря — Северное, Японское и др. (рис. 7.7).

При загрязнении нефтью характерны эвтрофикация акватории и, как следствие этого, уменьшение видового разнообразия, разрушение трофических связей, массовое развитие немногих видов, структурные и функциональные перестройки биоценоза. После разлива нефти на 3—5 порядков увеличивается численность углеводородокисляющих бактерий.

За последние четверть века в Мировой океан попало около 3,5 млн т ДДТ. Обладая высокой растворимостью в жирах, этот препарат и продукты его метаболизма способны накапливаться в тканях организмов и сохранять токсическое действие многие годы.

До 1984 г. в Мировом океане проводилось захоронение радиоактивных отходов. В нашей стране наиболее интенсивно оно осуществлялось в пределах Баренцева и Карского морей, а также в некоторых местах дальневосточных морей. В настоящее время по международным соглашениям практика захоронения радиоактивных отходов приостановлена ввиду того, что безопасность используемых контейнеров, в которых хранятся радиоактивные отходы, ограничивается несколькими десятилетиями.

Однако опасность радиоактивного заражения Мирового океана сохраняется в связи с происходящими авариями атомных подводных лодок, аварийными ситуациями на атомных ледоколах, авариями надводных судов, несущих ядерное вооружение, авариями и потерями атомных боеголовок на самолетах, а также проводимыми Францией ядерными взрывами на атолле Мороруга...

Наиболее опасными из радиоактивных изотопов для морских биоценозов и человека, поступающих в Мировой океан, являются ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs, участвующие в биологическом цикле.

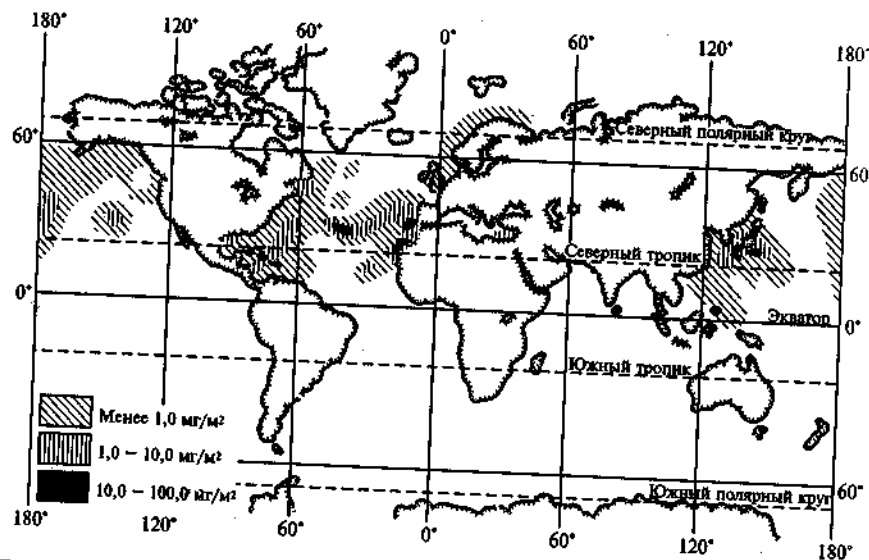


Рис. 7.7. Концентрация нефтяных соединений на поверхности Мирового океана

В Мировой океан загрязняющие вещества проникают также из воздушных потоков или с атмосферными осадками в виде кислотных дождей.

Распространению загрязнения Мирового океана способствуют не только взаимодействие его поверхности с атмосферой, но и сама динамика вод. Благодаря своей подвижности воды сравнительно быстро распространяют загрязняющие вещества по всему Мировому океану.

Загрязнение Мирового океана является глобальной угрозой. Антропогенные воздействия изменяют все существующие связанные между собой системы Мирового океана, причиняют ущерб растительному и животному миру и человеку в том числе. Его загрязнение не только способствует распространению токсичных веществ, но и заметно влияет на глобальное распределение кислорода. Ведь одна четвертая часть всего продуцирования кислорода растениями приходится на Мировой океан.

7.6. Общая характеристика гидросферы суши

Гидросферу суши составляют реки, озера, болота, ледники, снежный покров и подземные воды.

Реки — постоянно действующие водотоки, собирающие атмосферные осадки и подземные воды с обширных территорий (водосборных бассейнов) и производящие огромную геологическую

работу. Они размывают горные породы суши и переносят разрушенные частицы из одного места в другое. Реки имеют большое значение для человечества. Они удобряют почву и нивелируют земную поверхность, являются транспортными магистралями, дают электроэнергию.

Для каждой реки в течение года характерно чередование паводков (половодий) и низкого уровня воды (межени). Количество воды во время половодий увеличивается в десятки раз. Время проявления половодья и его продолжительность зависят от питания рек.

Важными характеристиками рек являются поверхностный русловый сток и расход воды. Под русловым стоком понимают количество воды, переносимое речным потоком за определенный отрезок времени. Твердым стоком реки считается количество твердых и растворенных веществ, перемещаемых рекой за определенный промежуток времени.

Вода, движущаяся по неровной поверхности земли в виде склонового стока, скапливаясь, образует ручейки. Собранная в ручьи вода обладает большим объемом и большей скоростью и начинает действовать как агент эрозии. Ручьи изменяют конфигурацию перидических склонов, размывают овраги, превращая их в маленькие долины. Наибольшая эрозия происходит на склонах, лишенных растительности.

Основные гидрологические характеристики главных рек России приведены в табл. 7.1.

Большую роль играет мутность рек, по которой, с одной стороны, можно судить о скорости денудации водораздельных пространств и склонов долин, а с другой — о степени размыва почвенного покрова. По удачному выражению С. П. Горшкова (1998), реки действуют подобно плохому бульдозеру. Они транспортируют в огромных количествах наносы и оставляют их на своем пути. В России такие реки встречаются там, где ведутся дренажные разработки россыпных месторождений. Их мутность в среднем составляет 15—20 г/л. Примерно такая же мутность (11—17 г/л) была характерна в 20-е годы XX в. для р. Колорадо в районе Гранд-Каньона вследствие сильнейшей эрозии почв на перегруженном пастбищами бассейне реки. Но после ограничения выпаса и принятия некоторых нормативных актов, направленных на охрану почв, введенных в США в 30-е годы, мутность этой реки понизилась почти вдвое.

Вследствие сильнейшей антропогенной нагрузки на водосборные площади высокая мутность характерна для р. Брахмапутры. Высота половодья и паводка в этой реке достигает 12 м. В это время расходы воды увеличиваются более чем в три раза по сравнению с зимним периодом. Только за один паводок возникшие небольшие островки и осередки смещаются на расстояние 1,5—1,7 км. За паводок, по данным А. А. Чистякова (1978), в русле р. Брахмапутры

Таблица 7.1

Основные гидрологические характеристики некоторых рек России

Река	Площадь бассейна, км ²	Длина реки, км	Средне-много-летний сток, км ³	Средне-много-летний расход, м ³	Сток мало-водного года, км ³	Водо-обеспеченность на 1 км ² , тыс. м ³ /год	Водо-обеспеченность, тыс. м ³ на 1 чел.
<i>Балтийское море</i>							
Нева	189	750	83	2630	57,1	417,7	117
Западная Двина	88	1020	20,3	640	116	2069	202
<i>Белое море</i>							
Северная Двина	362,6	750	112	3540	58	2258	462
<i>Баренцево море</i>							
Печора	322	1814	127	4020	99	4037	1793
<i>Азовское море</i>							
Дон	422	1870	39,5	900	11,7	661	12
Кубань	57,9	970	13,5	430	8,6	139,5	28
<i>Каспийское море</i>							
Терек	43,8	—	11,2	360	8,75	255,7	40
Урал	233,4	2540	7,8	250	3,3	33,4	62
Волга	1360	3694	238	7960	182,0	1775,0	4
<i>Карское море</i>							
Енисей (с Ангарой)	2540	3844	585	18 600	528	244,2	221,5
Обь (с Иртышом)	2470	3676	401	12 809	282	178,6	54,4
<i>Море Лаптевых</i>							
Лена	2472	4337	489	15 500	424	209,2	445,7
<i>Восточно-Сибирское море</i>							
Реки побережья	1097	—	255	8090	204	232,2	952,5
<i>Берингово море</i>							
Реки побережья	472,3	—	312	9950	249	660,6	2331,8

Окончание табл. 7.1

Река	Площадь бассейна, км ²	Длина реки, км	Средне-много-летний сток, км ³	Средне-много-летний расход, м ³	Сток мало-водного года, км ³	Водо-обеспеченность на 1 км ² , тыс. м ³ /год	Водо-обеспеченность, тыс. м ³ на 1 чел.
<i>Охотское море</i>							
Мур	1855	2825	403	12 830	209	185	88,7
<i>Японское море</i>							
Реки побережья	130,3	—	37,4	1190	29,2	287,1	21,7

могут откладываться толщи косослоистых песков мощностью до 15—17 м. Самые крупные русловые формы — ленточные гряды высотой от 7 до 17 м и длиной от 200 до 1000 м формируются при максимуме половодья и при его спаде. На широкой пойме при наводке возникают разливы, охватывающие площадь до 200 км², глубиной 3—4 м. Из-за отсутствия течения в спокойных условиях аккумуляруются глинистые алевриты со скоростью 2—3 см/год. За период 1830—1967 гг. в районе г. Ислампур накопился аллювий мощностью от 20 до 40 м. Вниз по течению мощность наносов увеличивается и достигает 150 м.

В огромных масштабах выносятся материал с обширных склонов Гималаев. Это вызвано сведением леса под пашни и резким увеличением эрозии на открытых землях, а также выносом смытого мелкозема и гумуса речным стоком левых притоков р. Ганг. И поэтому широко распространено выражение: «Непал экспортирует почву на равнины Индии». Но это же выражение, по мнению С. П. Горшкова, в равной мере относится и к Бутану, со склонов которого почвенный материал поступает в р. Брахмапутру.

Высокой мутностью обладают реки Хуанхэ (1600 млн т, 35 г/л), Ганг (1450 млн т, 3,5 г/л), Брахмапутра (850 млн т, 2,2 г/л), Инд (435 млн т, 2,5 г/л), Янцзы (500 млн т, 0,1 г/л), Амазонка (850 млн т, 0,1 г/л), Конго (300 млн т, 0,2 г/л), Миссисипи (300 млн т, 0,5 г/л).

Уникальной мутностью обладает р. Хуанхэ, несмотря на то что по водности она уступает Инду, Брахмапутре, Конго и особенно Амазонке. Только в одном из притоков Хуанхэ мутность достигает 450 г/л. По числу и масштабам катастрофических наводнений и по числу жертв с р. Хуанхэ не может сравниться ни одна река мира. Она дренирует площадь в 753 тыс. км², ее длина составляет 5464 км. Дельта Хуанхэ имеет площадь 10 000 км² и растет со скоростью несколько десятков метров в год. Дренаживание р. Хуанхэ в районе

Гидрологические характеристики озер России

Озеро	Площадь, км ²	Средняя глубина, м	Наибольшая глубина, м	Объем воды, км ³	Поверхностный приток, км ³ /год
Каспийское море	395 000	190	1025	76 040	266,4
Байкал	31 500	730	1741	23 000	60,1
Балхашское	17 700	51	230	908	74,8
Чанынское	9 720	29	127	285	19,9
Сарыаркыт	4 560	2,8	26	13	0,3
Сарыаркыт	4 150	4	10,6	18,5	2

Лессового плато (1200—1500 м), густо заселенного, сильно распаханного, плотно покрытого оврагами и крутопадающей эрозивной сетью, является причиной катастрофических наводнений на Северо-Китайской равнине. Здесь высокая площадная и овражная эрозия сочетается с большими модулями смыва, составляющего от 100 до 500 т/га. При пересечении рекой Лессового плато ее мутность увеличивается в десятки раз. При выходе на равнину избыточная аккумуляция достигает 7—8 см в год.

Наступает половодье в сезон дождей, который длится с июля по октябрь. Выпадает до 80 % годовой суммы осадков, с речным стоком транспортируется до 85 % наносов. Это время носит название сезона наводнений.

Для спасения от наводнений жители Северо-Китайской равнины уже с 603 г. до н. э. начали сооружать ограждающие береговые дамбы. Ныне нижнее течение р. Хуанхэ обнесено 5—6-рядной системой дамб длиной свыше 700 км вдоль левого берега и 600 км вдоль правого берега. На реке имеются восемь гидроузлов. Несмотря на принимаемые меры, река каждый раз вырывается на равнину. За последние 7000 лет это происходило 1600 раз и приводило к обширным наводнениям.

Самым грандиозным и катастрофическим было наводнение, случившееся в 1887 г. Была затоплена территория площадью 78 тыс. км². Под трехметровым слоем ила были похоронены многие селения. Погибло около 1 млн человек.

Самое крупное несчастье в долине р. Хуанхэ произошло в XX в. В 1938 г., взорвав правобережные дамбы у г. Чжэнчжоу и направив поток воды на равнину в юго-восточном направлении в давно покинутое русло, китайцы попытались приостановить продвижение японских войск по территории страны. При этом свободное русло Хуанхэ благодаря высокопродуктивному илу и освободившейся от воды территории было быстро заселено. Однако в 1947 г. правительство Гоминьдана распорядилось без предупреждения закрыть брешь в дамбе, чтобы затопить земли в районах, находившихся под управлением коммунистов. Эта варварская мера привела к затоплению полей и деревень, где проживали 200 тыс. человек. Большинство людей погибло. Данный акт представляет собой пример использования высокой водности реки в качестве военной силы.

Озера — природные водоемы во впадинах рельефа (котловинах), имеющие тектоническое, ледниковое, речное (старицы), провальное, вулканическое или искусственное происхождение, заполненные застойной или слабо проточной водой и не имеющие связи с Мировым океаном. Озера занимают около 2,5 % площади суши. Крупнейшими из них являются Каспийское море, Верхнее в Северной Америке, Виктория в Африке, Аральское в Средней Азии, Байкал в Сибири. Основная характеристика озер России приведена в табл. 7.2.

Большинство озер находится в областях четвертичного оледенения — озера Скандинавского полуострова и севера европейской части России, севера США и Канады. Располагаются озера во всех природных областях независимо от высоты местности. Самым высокогорным озером является озеро Титикака в Андах (высота 3812 м над уровнем моря), а самое низкое залегание имеет Мертвое море на Аравийском полуострове (395 м ниже уровня моря). Самым глубоким озером является Байкал (1741 м).

Озерные котловины созданы эндогенными, экзогенными и техногенными факторами. Среди эндогенных озер выделяются группы вулканогенных, сейсмогенных и тектонических. В вулканогенную группу входят кратерные, кальдерные, фумарольные, гейзеровые, лавово-плотинные и лахаро-плотинные типы. Например, крупнейшее на Кавказе озеро Севан является лавово-плотинным.

К сейсмогенной группе относятся обвально-плотинные озера, возникшие в результате обвалов скальных пород после сильных землетрясений: Сарезское озеро в Горном Бадахшане на Памире, образованное после землетрясения в 1911 г., и озеро Рица на Кавказе.

Широко распространены тектогенные озера рифтового типа: Байкал, Мертвое море и группа озер Восточной Африки.

Образование озер экзогенного происхождения связано с возникновением провально-карстовых, провально-суффозионных, флювиальных (руслых и пойменных), дефляционных, гляциальных (экзарационные, термокарстовые, гляциально-плотинные) и биогенных котловин.

Болота — избыточно увлажненные участки земной поверхности, заросшие влаголюбивой растительностью. Общая площадь бо-

лот на поверхности Земли составляет 2 млн км². Они располагаются в тех областях, где уровень грунтовых вод находится вблизи поверхности. По местоположению и условиям водного питания различают верховые, промежуточные, низинные и приморские болота. Верховые болота располагаются на выровненных водоразделах, на речных террасах и на склонах возвышенностей. Они подпитываются атмосферными осадками. Промежуточные болота питаются за счет как атмосферных осадков, так и подземных вод. Низинные болота располагаются в понижениях рельефа и часто возникают на месте обмелевших и заросших озер. Питаются за счет атмосферных осадков, подземных и поверхностных вод. Приморские болота занимают низменные морские побережья в областях с влажным климатом. В областях с тропическим климатом они покрываются мангровыми зарослями и иногда затопляются приливами.

Болота выполняют важную гидрологическую роль и являются стабильными источниками питания рек. Они регулируют половодья и способствуют самоочищению речных вод.

Основные заболоченные территории в России сосредоточены на северо-западе и севере европейской части, а также в Западной Сибири.

Ледники формируются в местах с низкими отрицательными температурами в результате многолетнего накопления снежных масс. Они присутствуют во всех высокогорных областях, в Антарктиде, Гренландии и на полярных островах. Ледники занимают 16,1 млн км², или 11 % территории суши, а общий объем льда в них равен 30 млн км³.

Высотное положение ледников зависит от климата. Наиболее низкое положение они занимают в приполярных областях и опускаются до уровня Мирового океана, образуя айсберги (Гренландия, Антарктида).

Ледники делятся на наземные ледниковые покровы, шельфовые и горные. Среди последних выделяют долинные, переметные, каровые, висячие, выводные. Характерная особенность ледников — их способность в результате вязкопластичного течения и под влиянием силы тяжести перемещаться от областей питания. Скорость движения ледников сильно варьирует. В Альпах ледники перемещаются со скоростью 0,1—0,4 м/сут, а на Памире и в Гималаях — 2—4 м/сут. Иногда на отдельных участках в зависимости от крутизны склона их скорость катастрофически увеличивается, достигая 150 м/сут.

Почти четвертая часть суши занята почвенным льдом, или многолетнемерзлыми грунтами.

Основная масса ледников России сосредоточена на арктических островах (Новая Земля, Северная Земля, Земля Франца-Иосифа, остров Врангеля, Новосибирские острова) и в горных районах (Боль-

шой Кавказ, Алтай, горы Камчатки, Южной и Северо-Восточной Сибири, Корякское нагорье, Саяны, Урал, Становой хребет).

Снежный покров образуется вследствие обложного или ливневого выпадения снега. Кроме снега в нем присутствуют также механические примеси и кристаллы льда. Продолжительность существования снежного покрова зависит от климатических условий. Максимальная площадь снежного покрова возникает в марте. В это время снег покрывает около 19 % территории северного полушария. Наибольшая высота снежного покрова на Европейской части России наблюдается на западном склоне Северного Урала (более 90 см), в Азиатской части — на Западно-Сибирской низменности (110—120 см), на Камчатке, Сахалине и в низовьях Амура.

Подземные воды относятся к числу природных ресурсов, от которых в настоящее время зависит жизнь значительной части населения земного шара. Под земной поверхностью находится примерно в 37 раз больше воды, чем во всех реках, озерах и болотах мира. Основная масса подземной воды имеет атмосферное происхождение. Однако кроме нее имеется погребенная (реликтовая) вода, сохранившаяся между частицами горных пород с тех пор, как возникли осадочные породы, и магматическая (ювениальная) вода, т. е. вода, поступающая из расплавленных магматических тел.

Подземными водами снабжается множество городов, они широко применяются в сельском хозяйстве и промышленности. Колодцы, источники и артезианские скважины дают в среднем около 150 млн м³ воды в сутки.

В районах, сложенных легкопроницаемыми и растворимыми горными породами, возникают пещеры и полости, а на поверхности формируются карстовые воронки и впадины. Причудливые формы земной поверхности в местах развития карстовых воронок называются карстовым рельефом. Для него характерны сеть многочисленных коротких оврагов и ложбин, карстовые провалы, поля и карстовые долины. Под землей располагаются карстовые галереи, пустоты, гроты и пещеры. По дну протекают подземные реки и имеются каскады подземных водопадов.

В областях молодой вулканической деятельности встречаются подземные термальные воды. На поверхность они изливаются в виде термальных источников и гейзеров.

Водохранилища — искусственно созданные водные ландшафты поверхностной гидросферы. По данным Р. К. Клиге, для суши характерен отрицательный водный баланс. По мнению ученого, ежегодное сокращение объема озер и подземных вод соответственно равно 38 и 108 км³. Потери озер компенсируются созданием водохранилищ, каналов и ирригационных систем. К техногенным озерам относятся водохранилища, создаваемые в руслах крупных рек в связи со строительством гидростанций, с помощью которых ре-

гулируется речной сток. Основные характеристики наиболее крупных водохранилищ России приведены в табл. 7.3.

Водоохранилища классифицируют по разным принципам. По условиям аккумуляции воды принято выделять: водохранилища в долинах рек, перегороженных плотинами; озера-водохранилища, зарегулированные плотинами; наливные водохранилища; водохранилища в местах выхода подземных вод, в том числе в условиях карста; водохранилища, создаваемые в эстуариях и прибрежных участках моря, отделенные от него дамбами.

Наибольшее количество водохранилищ, расположенных на равнинных территориях, создано в России. Самым большим по площади равнинным водохранилищем является водохранилище Вольта (Гана, Африка) — 8450 км²; в России наиболее крупное — Волжское (Самарское) — 5900 км². Самые емкие водохранилища — Кариба (175 км³) на р. Замбези и Братское на р. Ангаре (170 км³).

В аридных областях с поверхности водохранилищ ежегодно испаряется слой влаги до 2000 мм.

По данным А. Б. Авакян и В. А. Шарапова, главные функции водохранилищ следующие:

«склад воды», обеспечивающий круглогодичное бесперебойное снабжение водой городов, промышленных предприятий, орошаемых и обводняемых массивов; улучшение и удешевление забора воды насосными станциями;

акватория разноцелевого назначения, используемая для рекреации, судоходства, рыбного хозяйства и др.;

Таблица 7.3

Основные характеристики наиболее крупных водохранилищ России

Водоохранилище	Река	Год заполнения	Площадь, км ²	Объем полный, млн м ³	Объем полезный, млн м ³
Братское	Ангара	1967	5470	169 300	48 200
Красноярское	Енисей	1969	2000	773 300	30 400
Зейское	Зея	1983	2419	68 400	32 120
Усть-Илимское	Ангара	1974	1873	59 400	2770
Волжское	Волга	1959	6448	58 000	34 600
Хантайское	Хантайка	1969	2120	25 000	17 300
Волгоградское	Волга	1961	3117	31 450	8250
Рыбинское	Молога, Шексна	1949	4550	25 420	16 670
Цимлянское	Дон	1953	2702	23 860	11 540

источник и аккумулятор энергии, вырабатываемой ГЭС; регулятор стока в многолетнем, сезонном, недельном и суточном разрезах в различных отраслях экономики;

объект, изменяющий качество воды как в лучшую (уменьшение мутности, цвета, содержания сапрофитных бактерий и кишечной палочки), так и в худшую стороны;

объект, влияющий на земельные ресурсы в худшую (затопление, подтопление, переработка берегов, образование островов, безвоживание и осуходоливание пойменных угодий в нижнем бьефе и др.) и в лучшую (увеличение возможности орошения и обводнения земель, улучшение возможности использования земель в нижних бьефах в районах, страдающих от наводнений) стороны;

объект, вносящий некоторые положительные и отрицательные изменения в природу и хозяйство: влияние на климатические условия в прибрежной полосе, на русловые процессы в нижнем бьефе, на сроки становления и вскрытия ледостава на реке ниже плотины и др.

После создания водохранилища в примыкающем подпруженном участке русла резко усиливаются аккумуляционные и одновременно с ними денудационные процессы. В данном случае речь идет о регрессивной аккумуляции, глубинной эрозии, подтоплении примыкающих к водохранилищу участков суши.

Качество воды во многом зависит от гидробиологических процессов и функционирования системы: вода — донные осадки. Многие водохранилища подвержены эвтрофикации — «цветению воды». Причина этого явления заключается в аномально высоком содержании в воде биогенных веществ, которые попадают в водохранилища с сельскохозяйственных угодий и животноводческих комплексов, урбанизированных территорий и транспортных магистралей.

На первой стадии эвтрофикация выглядит как положительный фактор, так как повышается продуктивность всех населяющих водоем гидробионтов. По мере развития эвтрофикации качество промысловых рыб снижается. В конечной фазе развиваются заморные процессы и наступает омертвление водоема. Это происходит из-за того, что количество отмирающего фитопланктона становится несоизмеримо большим и практически весь кислород расходуется на окисление мертвого органического вещества.

Берега водохранилищ в той или иной мере подвержены разрушению. Факторами, способствующими разрушению берегов, являются: сложение их рыхлыми терригенными породами; круто-склонность и приглубость берегов; развитие оползневых процессов; отсутствие или подавленность водной и наземной растительности; ветровое волнение, быстрое удаление продуктов абразии вдольбереговыми течениями; перемещения контакта вода — берег

в течение года, которые составляют по вертикали 100—170 м, а по горизонтали 5—15 км.

Довольно быстро дно водохранилищ заиливается. В состав донных отложений водохранилища входят: автохтонное органическое вещество; речные наносы; продукты разрушения берегов и мелководий, а также выносы временных потоков; эоловый материал; антропогенные сбросы.

Установлено, что при наличии каскада водохранилищ наибольшую роль в заиливании играют продукты разрушения берегов и мелководий. Скорость заиливания относительно небольшого Ивановского водохранилища (1,12 км³) равна 0,7 % в год, а между тем Рыбинское водохранилище, которое почти в 25 раз больше (25,4 км³) и образовано в озерной котловине, только за 25 лет потеряло всего 1 % емкости и, таким образом, средняя скорость заиливания его составляет всего 0,04 %.

Хорошо изучены процессы заиливания верхневолжских водохранилищ: Ивановского, Угличского, Рыбинского. Например, в Ивановском водохранилище песчаные наносы накапливаются на глубине до 4 м, в Рыбинском — до 120 м, а в Угличском — менее 2 м.

Основной метод борьбы с заиливанием — периодическая промывка. При значительных уклонах дна она осуществляется путем пропускания воды через отверстия в плотине, которые открывают обычно во время паводка. Нередко применяют искусственное осажение взвесей и очистку воды от взвешенных частиц с помощью безвредных химических веществ.

Образование водохранилищ обычно сопровождается увеличением запасов подземных вод как в пределах акватории самого водохранилища, так и на окаймляющих его территориях. Причем уровень водоносного горизонта часто поднимается, а это вызывает подтопление низинных участков, примыкающих к водохранилищу.

7.7. Геологическая роль и неблагоприятные экологические процессы, обусловленные гидросферой суши

Многообразны экзогенные процессы, обусловленные гидросферой суши. Воды суши размывают горные породы, формируют рельеф, переносят вещество в растворенном или во взвешенном состоянии, отлагают его в понижениях рельефа и конечных бассейнах стока. Наряду с созидательной работой, протекающей весьма медленно, с наземной и подземной гидросферами связаны неблагоприятные природные процессы, негативно воздействующие на среду обитания человека и организмов: образование овражно-балочной системы, смещение русел рек, эрозия берегов, лимноабразия, заболачивание озер и экзарзация. С гидросферой суши свя-

зан и целый ряд катастрофических природных явлений — наводнения, сходы селевых потоков и лавин.

Формирование овражно-балочной сети. Оврагами называют крутосклонные промоины, являющиеся руслами временных потоков и образовавшиеся в результате эрозии, направленной в глубину. Временные потоки возникают в период выпадения значительных количеств атмосферных осадков и во время активного снеготаяния.

Образование оврагов начинается с формирования на склоне эрозионных ложбин. В зависимости от глубины различают эрозионные борозды (до 0,5 м), рытвины (1—2 м) и промоины (3—5 м). Все перечисленные формы рельефа задерживают атмосферные осадки, которые размывают склон. Рост оврага происходит вниз по склону до тех пор, пока его устье не достигнет базиса эрозии, и вверх — пока его истоки не дойдут до водораздела.

Крупнейшие овраги достигают длины нескольких километров и нескольких десятков метров в глубину и ширину. Их форма зависит от состава горных пород, в которые они врезаются. Наиболее крутые и глубокие овраги образуются на склонах речных долин, дренирующих известняковые массивы и песчано-глинистые четвертичные отложения. Особенно много оврагов среди лёссовых толщ. Стенки оврагов могут быть обвальными, осыпными или оползневыми. В начале склоны и днища оврагов лишены растительности. Со временем склоны покрываются плащом делювиальных отложений, сглаживаются, зарастают и превращаются в балки.

Скорость роста оврагов довольно велика. В бассейне р. Нижний Дон овраги ежегодно увеличиваются на 1—1,5 м, в предгорьях Северного Кавказа скорость роста оврагов достигает 3 м в год.

Наиболее широко овражная эрозия распространена в южной части лесной, лесостепной и степной зонах в пределах Среднерусской, Волыно-Подольской, Приволжской, Верхнекамской и Приазовской возвышенностей, где плотность оврагов составляет от 25 до 100 на 100 км². Развитию оврагов способствуют широкое распространение покровных отложений (супеси и суглинки) и характер рельефа (сильная расчлененность, большая площадь водосбора и крутизна склонов).

Формирование овражно-балочной сети на равнинах приводит к возникновению увалов, сокращению пахотных земель, заиливанию пойм и русел рек, а в устьях оврагов накапливаются конуса выноса. Кроме того, овраги способствуют понижению уровня подземных вод.

Образованию оврагов способствуют вырубка лесной растительности на склонах, распашка склонов, выпас скота, проведение дорог по пологим склонам речных долин и балок. Увеличение размеров оврагов приводит к уничтожению почвенного слоя, сокращению площади пахотных земель, затрудняет сельскохозяйственные работы, разрушает дороги и постройки.

Разработаны мероприятия по предотвращению эрозии почв и ослаблению силы руслового потока. На склонах оврагов и в их верховьях проводят лесопосадки, на дне оврагов создают препятствия в виде бетонных, каменных, песчаных и деревянных плотин, а дно оврагов укрепляют водобойными сооружениями.

Изменение русел рек и речная эрозия. Русла рек только на первый взгляд кажутся постоянными. Конфигурация речных долин вследствие сложных гидродинамических и геологических процессов меняется. Это происходит вследствие турбулентного движения воды в речных потоках, соотношения глубинной и боковой эрозии, переноса взвешенного обломочного материала и его аккумуляции, зависит от степени выработанности продольного и поперечного профиля русла, расположения базиса эрозии.

В смещении русел рек важная роль принадлежит силам Кориолиса, отклоняющим движущиеся водяные потоки в Северном полушарии вправо, а в Южном — влево. Наибольшие смещения наблюдаются у крупных равнинных рек, текущих в меридиональном направлении. Смещению русл способствует меандрирование. В вершине каждой излучины русло постоянно смещается в сторону вогнутого берега, размываемого в результате боковой эрозии. На перемещение русл оказывают влияние геологическое строение берегов и состав горных пород, современные тектонические движения, направление ветров, объем воды и т.д.

Смещение русл происходит и в результате дробления (фуркация) русла на отдельные рукава. Это очень характерно для горных рек, когда они выходят в предгорья, и для дельт крупных рек.

Смещение русл и интенсивная боковая эрозия приводят к разрушению береговых построек, уничтожению сельскохозяйственных угодий, расположенных на высоких поймах и террасах, загрязнению речных вод органическими гумусовыми кислотами.

Для предохранения берегов от развиваемой боковой эрозии их укрепляют, проводят лесопосадки. Для снижения отрицательного влияния меандрирования русла выпрямляют, иногда бетонируют и даже заключают речной поток в специальные трубы. Однако такие инженерные сооружения приводят и к отрицательным последствиям, особенно во время паводков, когда прибывающая масса воды не успевает пройти через специально созданные каналы. Кроме того, выпрямление русл нередко нарушает режим подземных вод и способствует гибели речных экосистем.

Наводнения. Вызываются наводнения интенсивными ливневыми дождями или быстрым таянием снежного покрова. Они опасны для регионов с низкими абсолютными отметками, расположенными в низовьях крупных рек, в пределах дельт. Наряду с речными нередко возникают наводнения в результате морских приливов или во время нагонов воды сильными ветрами в устье рек. Например,

часто нагонные наводнения происходят в устье Невы, в устьях рек Брахмапутры и Ганга. В 1988 г. во время катастрофического паводка в Индии было затоплено 82 тыс. км², были разрушены 7,2 млн жилищ, погибли 2379 человек, 172 млн голов домашнего скота. Наводнения приводят к тяжелым последствиям — резкому возрастанию смертности от эпидемических болезней и голода. Последствия некоторых наводнений приведены в табл. 7.4

Ущерб причиняется прежде всего самой водой, которая затопляет земли, хозяйственные сооружения, здания, дороги, посевы. Высокая скорость большой массы воды сносит мосты, разрушает береговые сооружения, а влекомые ею обломки представляют прямую угрозу жизни людей. Речные наносы (тонкий ил, песок и гравий), которые откладываются после отступления воды, также приносят большой ущерб, особенно сельскохозяйственным землям. В сельскохозяйственных районах наводнения сопровождаются эрозией земельных угодий, уничтожением посевов и насаждений, гибелью домашнего скота, разрушением ирригационных систем, дорог и построек. В городах вода наносит ущерб зданиям, улицам,

Таблица 7.4

Последствия некоторых крупнейших наводнений
(по данным Жаклин Л. Бейкер)

Дата	Место	Число жертв	Материальный ущерб
Июнь 1972 г.	Восток США	Свыше 100	2 млрд долл.
Июнь 1972 г.	Рапид-Сити, Юж. Дакота	215	10 млрд долл.
9 октября 1963 г.	Беллуно, Италия	Свыше 2000	Перелив воды через плотину Вайонт
4 октября 1955 г.	Пакистан, Индия	1700	63 млн долл.
1 августа 1954 г.	Область Казвин, Иран	Свыше 2000	—
31 января — 1 февраля 1953 г.	Северная Европа	Свыше 2000	Опустошены прибрежные районы
28 августа 1951 г.	Маньчжурия	Свыше 5000	—
1911 г.	р. Янцзы, Китай	100 000	—
1887 г.	Хэнань, Китай	Свыше 900 000	Уничтожены населенные пункты (разлив р. Желтой)
1642 г.	Китай	300 000	—

транспорту, инженерным сооружениям и подземным коммуникациям.

Согласно статистическим данным, наибольшее число жертв наводнений в мире с 1947 по 1967 г. (за исключением СССР) приходится на Азию — 154 000 погибших, затем следует Европа — 10 500 погибших. В Южной Америке, Африке и Карибском регионе число жертв составило 2000—3000 человек, а в Северной Америке погибло 700 человек.

Лимноабразия. Наблюдается на берегах озер и водохранилищ. Она вызывается волновыми движениями, которые обрушиваются на берега и размывают их. На крупных озерах высота волн во время сильного ветра может достигать 5-метровой высоты. Особенно интенсивно размываются берега во время заполнения водохранилищ. В Цимлянском водохранилище на р. Дон берега были срезаны волнами за 5 лет в среднем на 50 м, а на отдельных участках — на 120 м.

Заболачивание. Процесс заболачивания развивается в условиях влажного климата, когда количество атмосферных осадков превышает их испарение, в местах, где существует равнинный рельеф и близко к поверхности расположены подземные воды. Заболоченные земли преобладают в тундре, в зоне лесов (на европейской части они составляют 40%, а в лесостепной зоне — 10%). Заболочены большие пространства Мещерской, Молого-Шекснинской, Полесской, Причерноморской, Прикаспийской и других низменностей. Аналогичная картина наблюдается в Сибири. Здесь заболочена огромная территория Западно-Сибирской низменности. В Восточной Сибири заболочены поймы и приустьевые части в долинах крупных рек.

Процессы заболачивания существенно меняют природную обстановку, среду и условия жизнедеятельности человека. В процессе заболачивания происходит полная смена растительности. Избыточное увлажнение ухудшает воздухообмен почвы и отрицательно отражается на древесной, кустарниковой и травянистой растительности. Заболочивание наносит ущерб лесному хозяйству, ухудшает водный режим почв и препятствует получению высоких урожаев.

Материальный ущерб от заболачивания вызван необходимостью дополнительных расходов на проведение ирригационных работ и защиту построенных сооружений от агрессивного воздействия подземных вод.

Ледники. Движущиеся под влиянием силы тяжести ледники производят огромную геологическую работу. Экзарацию, или разрушительные действия, ледники оказывают на подледное ложе и боковые стенки ледниковой долины. Эти воздействия проявляются в областях современного оледенения, особенно в горных районах. Наряду с разрушительным действием ледники производят и созидательную работу. Вынося обломочный материал разного раз-

мера, ледники его постепенно откладывают, создавая донные, боковые и конечные морены.

Вытекая из зоны аккумуляции, ледники приобретают различные формы в зависимости от поверхности, по которой они текут: горные, альпийские или долинные ледники; сливающиеся ледники или ледники предгорий; покровные, или материковые ледники (они называются иногда ледниковыми щитами или покровами). Под действием ледников образуются карры, ледниковые цирки и ледниковые долины—троги. Карры представляют собой креслообразные углубления с крутыми, порой отвесными стенками и вынутым дном. При разрастании карры преобразуются в ледниковые цирки — крупные впадины циркообразной формы, обрамленные с трех сторон высокими скалистыми хребтами. Четвертая сторона открыта вниз, по которой осуществляется сток льда. Троги имеют широкое полого-выгнутое дно и крутые склоны, вытравливаемые льдом. Профиль трогов изменчив. Наряду с пологими частями имеются крутые ступени — ригели.

Лавины. Лавины — массы снега, падающие или соскальзывающие с крутых склонов гор. Падение лавин сопровождается образованием воздушной предлавиной волны, которая производит большие разрушения. Скорость лавин достигает 100 км/ч. Лавины перемещают большое количество снега. Самые крупные лавины сносят до 1 млн м³ снега.

Среди лавин выделяют: снежные оползни — осывы; лотковые лавины, движущиеся по эрозионным бороздам; прыгающие лавины, перемещающиеся скачками по уступам, или свободно падающие.

Сход лавин происходит в результате перегрузки склона снежной массой в результате обильных снегопадов или нарушения сцепления между снежными слоями. Такие лавины называются сухими. Мокрые лавины возникают в результате появления между подошвой снежного покрова и поверхностью склона водной смазки, образованной во время оттепелей или дождей. При формировании в нижней части снежной толщи горизонта разрыхлений, вызываемых возникновением кристаллов глубинной изморози, также возникают лавины. Кристаллы появляются в результате разности температур между нижними и верхними горизонтами снежного покрова на склонах. Возникающий при более высоких температурах в нижних слоях снежного покрова водяной пар мигрирует в более высокие и холодные горизонты, что приводит к испарению снега в теплом слое и превращению его в горизонт скольжения.

Огромная разрушительная сила снежных лавин, нередко достигающая силы удара 100 т на 1 м², усиливается воздушной волной, перемещающейся впереди фронта движущейся лавины.

Лавины наносят большой ущерб экономике и приводят к человеческим жертвам (табл. 7.5).

Классификация лавинной опасности

Лавины	Потенциальный эффект	Превышение лавиносбора, м	Объем лавин, м ³	Давление лавин, т/м ²
Маленький осов	Может сбить человека с ног, частично засыпать	10	1—10	0,1
Небольшая лавина	Ломает ветки деревьев, выдавливает окна, может ранить, засыпать и убить человека	10—10 ²	10—10 ²	0,1
Средняя лавина	Ломает молодые деревья, деревянные здания, переворачивает машины	10 ²	10 ² —10 ⁴	1,0
Большая лавина	Валит старый лес, разрушает каменные сооружения и металлические конструкции	10 ³	10 ⁴ —10 ⁶	10
Гигантская лавина	Выпахивает русло, разрушает железобетонные сооружения	10 ³ —5·10 ³	10 ⁷	100

Примечание. Лавинное тело трех последних классов обычно содержит грунт, камни, обломки стволов деревьев.

Возникновению лавиноопасных склонов способствуют вырубка лесов и выемка грунтов.

На территории России к числу лавиноопасных относятся горы Северного Кавказа, Кольского полуострова, Полярного, Приполярного и Северного Урала, Горного Алтая, Саян, Южной и Восточной Сибири, Камчатки.

Сход лавин, приводящий к гибели людей или к серьезным экологическим последствиям, происходит в мире в среднем не реже двух раз в год. Особенно опасно внезапное пробуждение лавинных участков, где следы действия лавин в прошлом исчезли. Неосмотрительно возведенные в зоне выброса лавин сооружения нередко оказываются под действием катастрофических сбросов снега. Опасны также те лавины, которые отклоняются от своих традиционных путей схода. Причиной подобных ситуаций являются экстремально длительные и обильные снегопады или разовое выпадение за сутки снежного покрова толщиной 50 см в холодных районах и 100 см — в теплых. В районах с морским климатом, в частности в Скандинавии, на Камчатке и Сахалине, лавинные бедствия связаны с приходом глубоких и продолжительных циклонов.

Наиболее крупные по объему лавины зарегистрированы в Гималаях и Андах, на Кавказе и в западной части Тянь-Шаня.

Сели. Сели — катастрофические временные бурные русловые грязекаменные потоки. Они характеризуются высоким содержанием твердого материала (не менее 100—150 кг на 1 м³) и резким подъемом уровня воды, внезапным возникновением и быстрым перемещением. Сели обладают высокими эрозирующими свойствами и огромной ударно-разрушительной силой, связанной с большой насыщенностью твердой фазой, значительной крутизной русла и лавинным характером движения.

Образованию селей способствует наличие на склонах мощных не закрепленных растительностью осыпей. Во время сильных ливней или бурного таяния снега эти осыпи быстро насыщаются водой и начинают двигаться по эрозионным ложбинам, наполняя их грязево-жидкой массой. Сели в отличие от паводковых вод двигаются прерывисто, валами вследствие периодического образования каменных и грязекаменных заторов в местах сужения русла или на его поворотах. Накопившись перед одним затором, поток постепенно набирает силу и, прорвав его, устремляется к следующему со скоростью более 15 км/ч. Вынося огромные массы каменного материала, селевые потоки на своем пути разрушают здания и засыпают сельскохозяйственные угодья. В 1921 г. селевой поток частично разрушил г. Алма-Ату, а в 1946 г. — г. Ереван. Атакам селевых потоков периодически подвергаются города Душанбе, Бешкек, Тбилиси. В России сели развиты на Кольском полуострове, на Урале, на севере Сибири, в Саянах, Прибайкалье, на Камчатке, в предгорных и горных районах Средней Азии, Северного Кавказа и Закавказья.

Экологические последствия селевых потоков зависят от их мощности. Катастрофические последствия имеют сели объемом более 1 млн м³. Они представляют значительную угрозу населению и часто приводят к человеческим жертвам. Одним из самых трагичных по своим последствиям был селевой поток, сошедший в июле 1938 г. в г. Кобе (Япония). Спустившись к подножию гор, где располагался город, сель вызвал гибель 460 человек и разрушил 100 000 домов. В 1970 г. в Перу под грязекаменной массой селя был погребен г. Юнгай с 20 000 жителей.

Хотя катастрофические сели происходят не часто, избежать огромного ущерба от их воздействия не удастся. Сели представляют опасность для всех объектов гражданского и промышленного назначения, которые оказываются в зоне их прохождения. Огромный вред селевые потоки наносят транспортным магистралям. Селевой материал заваливает дорожное полотно, забивает туннели, сносит мосты, опоры и трубы. Сели заносят ирригационные сооружения, разрушают горные электростанции, линии связи, продуктопроводы и наносят большой ущерб сельскому хозяйству.

Сели являются быстродействующими катастрофическими природными стихийными явлениями. Продолжительность схода сели различна: от нескольких десятков минут до нескольких часов. Обычно сели проходят в течение 1—3 ч волнами по 10—30 мин.

7.8. Экологические последствия антропогенного воздействия на гидросферу суши

Антропогенное воздействие на гидросферу суши, в том числе на подземные воды, возникает в результате использования питьевой и технической воды. В России основными потребителями поверхностных вод являются промышленность, которая использует около 35 % всей потребляемой воды из природных поверхностных источников, сельское хозяйство — 26 % и теплоэнергетика — 24 %. На коммунальное хозяйство расходуется около 4 % воды, а на рыбное — всего 1 %. В то же время на долю подземных вод приходится около 10 % общего водопотребления.

Развитие промышленности и необходимость орошения земель, растущие потребности в чистой питьевой воде привели к экологическим проблемам. Среди них главными являются: истощение запасов и понижение уровня воды в поверхностных водоемах; изменение качества вод, вызванное загрязнением промышленными и сельскохозяйственными стоками, нефтепродуктами, тяжелыми металлами и радиоактивными соединениями; термическое загрязнение и радионуклидное заражение водоемов; изменение режима рек и масштабов эрозионно-аккумулятивной деятельности; сейсмическая активность искусственных водоемов; истощение биологической продуктивности водоемов; изменение уровня подземных вод, истощение их запасов и ухудшение качества.

Истощение запасов поверхностных и подземных вод. Этот процесс сопровождается обмелением водоемов и водотоков и понижением уровня подземных вод. Он определяется двумя факторами. Во-первых, это ежегодные безвозвратные потери воды в процессе использования ее в хозяйственных нуждах. В зависимости от качества повторной очистки и существующих систем оборотного использования они составляют до 25 % ежегодного технологического расхода воды. Вторым фактором, существенно влияющим на истощение запасов воды, является создание как отдельных водохранилищ, так и каскадов водохранилищ, в том числе в аридных областях, которые должны были решить определенные экономические задачи. В частности, с их помощью решаются проблемы водоснабжения населения прилегающих районов, орошения, снижения опасности наводнений и подтопления территорий, улучшения условий судоходства, рыболовства, рыбовоспроизводства и создания рекреационных зон.

Вместе с тем водохранилища оказались объектами безвозвратных потерь не только поверхностных, но и подземных вод суши, которые происходят за счет усилившегося испарения с поверхности. Особенно сильно тенденция к сокращению запасов воды стала проявляться после начавшегося потепления климата.

Безвозвратные потери поверхностных вод стимулировали развитие некоторых региональных катастроф и среди них — катастрофа Аральского моря, уровень воды в котором в связи со снижением общего количества поверхностного стока рек Амударьи и Сырдарьи, расходуемого на орошение, стал снижаться. Другой пример подобного рода — строительство в верховьях р. Или в конце 60-х годов XX в. Капчагайского водохранилища недалеко от Алма-Аты. Это привело к резкому снижению уровня озера Балаш и к почти полной утрате его экономического значения. В настоящее время наблюдается обмеление многих рек, в том числе понижение уровня воды не только в системе каскада Волжских водохранилищ, но и в крупнейших водохранилищах Сибири и Дальнего Востока.

Изменение качества воды. Увеличение выбросов загрязненных промышленных, сельскохозяйственных и бытовых сточных вод привело к изменению качества воды. Кроме того, воды сильно загрязняются нефтепродуктами и токсичными веществами.

Несомненно, что объемы промышленного использования вод суши зависят от структуры промышленных предприятий, типа и качества очистных сооружений и типа используемых технологий. Основными загрязнителями являются такие водоемкие промышленные производства, как теплоэнергетика, черная и цветная металлургия, машиностроение, нефтехимическая и деревообрабатывающая, пищевая и целлюлозно-бумажная промышленность. Особенность коммунального хозяйства заключается в том, что почти 90 % воды используется для населения городов, имеющих централизованные системы водоснабжения.

На территории России менее 50 % используемой воды очищается до нормативных требований. Остальные стоки сбрасываются или недостаточно очищенными, или полностью неочищенными. С ними в поверхностные воды, а затем через сложную систему природных каналов загрязнители попадают в подземные воды. Последние могут очищаться природными фильтрами. Однако поверхностные воды не способны очищаться и в них в огромных количествах присутствуют токсичные органические соединения, твердые взвешенные частицы, нефтепродукты, тяжелые металлы, сульфаты, хлориды, соединения фосфора, азота и нитраты.

Только на территории Российской Федерации общий объем ежегодных загрязнений, поступающих в водоемы, превышает 50 млн т. Из них на долю сельскохозяйственных предприятий (фермы, молочно-перерабатывающие предприятия, сельскохозяйствен-

ные площади) приходится около 50 % загрязняющих веществ, коммунальной сферы — 35 % и промышленности — 10—15 %.

Снижение качества воды оказывает отрицательную роль на здоровье людей, негативно влияет на биологическую продуктивность водоемов. Наличие в поверхностных водах ряда соединений изменяют их щелочно-кислотный потенциал, что приводит к усилению химического выветривания и карстообразования.

Термическое загрязнение. С работой тепловых и атомных электростанций связано термическое загрязнение воды. Основная масса воды, используемой в тепловой энергетике, предназначена для охлаждения турбин и генераторов. При этом около 5 % воды безвозвратно теряется, превращаясь в пар.

Широкое распространение начиная с середины XX в. получили специальные пруды-охладители на теплоэлектростанциях. Охлаждая систему турбин и генераторов, нагретые воды отводятся в пруды, в которых создаются благоприятные тепловые условия для массового размножения фитопланктона. Происходит эвтрофикация воды.

Нередко поверхностные водоемы используют для захоронения вредных и радиоактивных веществ. Таковыми являются хвостохранилища на горнодобывающих и обогащательных предприятиях. При переполнении таких хранилищ нередко создаются аварийные ситуации, а воздействие содержащихся в них соединений нарушает геохимическое равновесие и приводит к заражению местности.

Изменение режима рек и обмеление. Создание на реках искусственных водоемов, использование рек и водоемов в качестве транспортных магистралей, по которым курсируют многотоннажные суда, а также изъятие воды для хозяйственных нужд приводят к существенному нарушению гидрологического режима рек, изменению места, времени и активности проявления геологических процессов — глубинной и боковой эрозии, изменению твердого стока и объема взвешенного материала, русловой и пойменной аккумуляции, аккумуляции аллювиального материала в устьях рек. Это, в свою очередь, оказывает влияние на биологические условия, изменяет характер воспроизводства рыбы и затрудняет судоходство. Быстрое накопление осадков на дне водохранилищ при изменении скорости руслового потока приводит к обмелению и вызывает необходимость проводить очистку русла, землечерпание, регулировать сток в районе гидротехнических сооружений и осуществлять инженерную защиту берегов.

Сейсмическая активность искусственных водоемов. В настоящее время имеется большое количество материалов, свидетельствующих об усилении сейсмической активности в районах созданных водохранилищ. Геологическая среда, находящаяся под акваторией водохранилища, существует под действием гравитационных сил. Горные породы под дном постоянно находятся под действием гравитационных и тектонических сил напряженности. Под влиянием

толщи воды наполняемого водохранилища, а также ежегодно наплаваемого твердого стока, так как плотина преграждает перемещение взвешенного материала в сторону базиса эрозии, изменяется напряженность пород дна водохранилища. Все это приводит к кратковременным смещениям по существующим на глубине разрывам и вызывает действие сейсмических волн, которые достигают поверхности. Возникают землетрясения не только в сейсмически активных областях, но и в пределах стабильных платформ. Эпицентры землетрясений располагаются на расстоянии 110—215 км от водохранилища, а очаги — на глубине 6—8 км. Активность и частота землетрясений усиливаются после достижения определенного уровня воды в водохранилище. Причем установлено, что частота вызываемых толчков в большинстве случаев связана не столько с положением уровня воды, сколько со скоростью и величиной перепада уровня воды в водохранилище. Наблюдения показывают, что периоды усиления и ослабления сейсмичности могут продолжаться в течение нескольких лет.

Через год после сооружения на р. Колорадо в США плотины Гувера и заполнения водохранилища начались сейсмические толчки. Только за десять лет произошло более тысячи слабых толчков. Только однажды, спустя 4 года после сооружения плотины, произошло сильное землетрясение, энергия которого соответствовала суммарной энергии всех предшествующих землетрясений.

На полуострове Индостан на р. Койна в 1961 г. началось заполнение водохранилища объемом около 3 трлн м³. В 1967 г. произошло 8—9-балльное землетрясение, в результате которого погибли 80 человек и еще 2000 человек получили ранения.

К моменту заполнения Нурекского водохранилища на р. Вахш (Таджикистан) было зарегистрировано 133 землетрясения. Очаги их располагались под водохранилищем вблизи плотины. В связи с перемещением центра нагрузки столба воды по мере заполнения водохранилища очаги землетрясения смещались.

Источники биологической продуктивности. Уровень биологической продуктивности находится в полной зависимости от гидрологического режима (регулирование и снижение стока, изменение скорости и объема воды) и качества воды. Ухудшение этих показателей приводит к уменьшению пищевой базы и сокращению численности рыб в водоемах.

Изменение уровня подземных вод. Нерациональное использование подземных вод, особенно артезианских бассейнов, откачка подземных вод с разных горизонтов для питья, промышленных и хозяйственных целей и орошения, с одной стороны, приводят к загрязнению территории, а с другой — уменьшают объем подземных вод. В свою очередь, это приводит к подтоплению территории добычи, а также способствует опустыниванию водосборного бассейна.

7.9. Особенности загрязнения и изменения качества вод гидросферы суши

Естественные речные и озерные воды обычно бывают достаточно приемлемого качества для большинства потребителей и не требуют значительной очистки. Антропогенное вмешательство в гидросферу выражается в потреблении речных, озерных и подземных вод и сбрасывании сточных вод в существующую природную дренажную систему. Фактически деятельность человека постепенно превращает реки из дренажных систем в сточные каналы, иногда с достаточно высоким уровнем загрязнения, часто превышающим сотню ПДК по некоторым компонентам.

До тех пор пока в речных бассейнах преобладают природные геологические процессы, речной сток переносит естественные растворенные вещества. Однако по мере возрастания антропогенной деятельности воды суши начинают расходоваться не только в качестве питьевых ресурсов, но и в промышленности и коммунально-бытовом хозяйстве. Это усиливает миграцию химических веществ и приводит к их концентрации в природных водах, что ухудшает их качество. Часто в природную среду попадают вещества сугубо антропогенного происхождения, посторонние для природных условий, с неблагоприятными свойствами и к тому же токсичные. Общее количество загрязняющих веществ в водах суши огромно.

Больше всего воду потребляют энергетическая, химическая, целлюлозно-бумажная и металлургическая отрасли промышленности. Промышленное водопотребление, м³/сут, составляет:

Целлюлозно-бумажная, энергетическая и металлургическая промышленность	15 000—80 000
Химическая, нефтехимическая, горнообогатительная промышленность	5 000—15 000
Машиностроительная промышленность, трубо-прокатные заводы	500—5 000
Текстильная, легкая, стройматериалов, пищевая промышленность	50—500
Мукомольные заводы, зерноприемные пункты	менее 50

Крупные города сбрасывают в местные водотоки anomalно большие количества использованной и плохо очищенной воды. Весьма велик объем вод, стекающих после полива и выпадения атмосферных осадков с обработанных химикатами и удобрениями сельскохозяйственных земель.

Объем сброса сточных вод в водоемы России в 1997 г. составил 59,3 км³. Из этого количества в реки ежегодно сбрасывается примерно 30 км³ загрязненных сточных вод, требующих 10—12-кратного разбавления, а для некоторых веществ — 50—200-кратного.

Загрязнение твердыми частицами. В реки, протекающие через крупные города, попадает обычно такое же количество загрязнителей, которое поступает со значительно больших неурбанизированных территорий. В книге С. П. Горшкова (1998) показано, что в США твердые частицы считаются загрязнителями номер один. Высокое содержание в воде глинистого материала резко снижает качество. Она становится непригодной для подачи в водораспределительные системы. На гидростанциях от содержания в речной воде большого количества взвешенных частиц быстрее изнашиваются лопасти турбин. Ускоренное накопление наносов в руслах рек ухудшает условия судоходства. Аккумулятивные процессы влияют на состояние пристаней, гаваней и судовых путей. Избыток наносов в реке приводит к быстрому заиливанию dna водохранилищ и фарватеров, а также к постепенной потере водорегулирующих функций водных систем. В замутненных водоемах понижается биологическая продуктивность. С взвешенными частицами в адсорбированной форме переносятся и оседают на дно различные токсичные вещества.

Загрязнение нефтью, нефтепродуктами и хлоридами. Это явление свойственно большинству материковых конечных водоемов, хотя переносчиками являются речные системы. Кроме пленок нефти, которые возникают во время аварий на нефтепроводах и речных судах, а также на добывающих предприятиях, в речные воды попадают бензпирен (ПДК ≈ 5 мг/л) и другие ПАУ, особенно при сбросе стоков с нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий.

Распространено загрязнение речных вод полихлорированными бифенилами (ПХБ), которые используют в трансформаторах, конденсаторах и некоторых приборах и механизмах. В США ПХБ обнаружены практически во всех реках, их наличие зафиксировано в озерах. В частности, употребление рыбы из оз. Онтарио и р. Гудзон представляет опасность для людей, так как в ее мышцах обнаружено до десятков миллиграмм ПХБ на 1 кг живой массы. У людей, получивших повышенные дозы ПХБ, отмечаются поражения нервной системы и печени, а также развиваются различные кожные заболевания.

Практически повсеместно в реках, протекающих через крупные города, отмечается повышенное содержание хлоридов (NaCl, KCl, MgCl₂). Причина этого — широкое применение этих солей в городах и поселках для ускорения таяния снега. Повышенное содержание хлоридов отмечается практически во всех речных бассейнах, дренирующих шоссейные дороги федерального и регионального масштабов.

Загрязнение детергентами. Присутствие в воде детергентов обуславливает: 1) появление у воды неприятного запаха и вкуса уже при концентрациях 1—3 мг/л при одновременном изменении цве-

та, усиление способности к пенообразованию; 2) нарушение кислородного режима; наличие дивергентов в концентрации около 1 мг/л приводит к тому, что на реках с медленным и спокойным течением интенсивность аэрации понижается на 60 % и более; 3) изменение естественного хода химических процессов в водоемах; 4) отравление гидробионтов, угнетение жизни в водоемах (летальная концентрация для планктона около 1 мг/л, а для рыб — 3—5 мг/л); 5) снижение эстетической ценности водных объектов и ограничение возможностей их использования в рекреационных целях; 6) затруднения в отдельных случаях при навигации, особенно для движения мелких судов и лодок.

Загрязнение биогенными веществами. Разнообразные питательные вещества, или биогенного происхождения и различные соединения азота и фосфора, которые содержатся в продуктах горения органического и минерального топлива, в неочищенных промышленных и коммунальных стоках, поступают в поверхностные воды суши. Они могут попадать как со стоком воздушным путем от транспорта и стационарных промышленных установок, так со стоком разнообразных вод. Избыток биогенов ведет к цветению водоемов.

Содержащиеся в воде нитраты опасны для здоровья людей, так как в соединении с пищевыми нитратами повышается их допустимая доза в организме. В этом случае у людей и животных возникают острые желудочно-кишечные расстройства и различные заболевания. Очень высокое содержание нитратов и нитритов в продуктах питания и воде приводит к тому, что у потребителей гемоглобин крови превращается в метгемоглобин. При замещении им 20 % гемоглобина нарушается транспортировка в крови кислорода, а при замещении 80 % гемоглобина наступает смерть от метгемоглобинемии. Заболевание детей этой болезнью отмечалось в США, Германии и Франции при наличии в воде более 64 мг/л нитратного азота. В ряде стран установлена прямая зависимость заболеваний раком от содержания нитратов в питьевой воде.

Бактерии и дрожжи восстанавливают нитраты до более токсичных нитритов. Нитриты — предшественники образования нитрозаминов, канцерогенных веществ в самой низкой концентрации. Нитрозамины способны вызвать рак легких, гематомы и лейкоз.

Считается, что суточное суммарное потребление азота нитратов с пищей и водой не должно превышать 200 мг, а азота нитритов — 10 мг. Согласно данным ВОЗ, ПДК азота нитратов в воде в условиях умеренного климата должна быть не более 22 мг/л, а в субтропическом и тропическом климатах — 10 мг/л. В России принята ПДК азота нитратов в воде составляет 10 мг/л.

Минерализация вод. Этот процесс означает увеличение в водах содержания растворенных веществ. Усиление антропогенной дея-

тельности привело к тому, что содержание в воде основных ионов, в частности хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов, кальция, магния, натрия и калия, стало сильно возрастать. Все они растворены в природных водах в зависимости от ландшафтно-климатических условий. В результате усиленной хозяйственной деятельности в настоящее время 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. Сырдарья минерализация, составляющая менее 1 г/л, за 30 лет увеличилась до 3 г/л. Такая же картина характерна для рек Амударья и Колорадо. На р. Колорадо на границе США и Мексики построена специальная опреснительная установка, снижающая минерализацию воды. Это связано с тем, что между США и Мексикой заключено соглашение, по которому с территории США должна вытекать речная вода строго определенного качества.

Загрязнение тяжелыми металлами. В водные объекты тяжелые металлы попадают воздушным путем, со сточными водами и со свалок. Попадая в воздух в результате сжигания твердого и жидкого топлива, а также в виде отходов при цементном производстве, выплавке металлов, производстве удобрений, красок, тяжелые металлы переносятся воздушными массами на различные расстояния, постепенно оседая в водных бассейнах. Сбросы сточных вод предприятиями цветной металлургии, угольной, текстильной и химической промышленности отличаются повышенным содержанием тяжелых металлов. По степени токсичности они располагаются в такой последовательности: Hg > Cu > Cd > Pb > As.

Опасность загрязнения воды тяжелыми металлами, так же как и некоторыми токсичными веществами, связана с тем, что в результате функционирования организмов эти токсичные элементы постепенно накапливаются в теле и скелетах животных, доходя до опасных для жизнедеятельности доз. Тяжелые металлы, переходя из воды в биоту, концентрируются в ней все больше и больше при движении по трофической пирамиде. В 1953 г. в г. Минамата (Япония) произошла вспышка болезни, которая в тяжелой форме поражала нервную систему людей и домашних животных и часто заканчивалась летальным исходом. Эта болезнь была вызвана тем, что в одноименный залив длительное время сбрасывались стоки, содержащие медь, цинк, олово и ртуть. Тяжелые металлы концентрировались в морепродуктах, которые использовали в пищу жители г. Минамата. Болезнь, получившая название болезни Минамата, была зафиксирована в округе Нингата в 1965 г. Особенность этой болезни состоит в том, что она передается по наследству, а возбудителями ее являются этилртуть и особенно метилртуть. Они образуются при биогеохимических процессах из других соединений, содержащих ртуть в донных илах.

Таблица 7.6

Характер воздействия тяжелых металлов и микроэлементов на здоровье людей и ПДК питьевой воды

Элемент	ПДК, мг/л	Характер воздействия
Ni ²⁺	0,4	Канцероген
Cd ²⁺	0,01	Поражение почек
Cd ⁶⁺	0,1	Поражение почек, легких, кожи
Cr ³⁺	0,5	Поражение сосудов
Cu ²⁺	1,0	Поражение желудочно-кишечного тракта
Pb ²⁺	0,03	Поражение кровеносной системы
Hg ²⁺	0,005	Поражение центральной нервной системы
Zn ²⁺	5	Токсичен
As ³⁺	0,05	Рак кожи
Se ⁶⁺	0,001	Токсичен
Be ²⁺	0,0002	Поражение кроветворной системы, нервных клеток головного мозга
Mo ⁶⁺	0,25	Молибденовая подагра
Mn ²⁺	0,1	Поражение центральной нервной системы

Тяжелые металлы и некоторые микроэлементы, находящиеся в повышенных количествах в питьевой воде, влияют на здоровье людей (табл. 7.6).

Тепловое загрязнение. Оно представляет очень серьезное явление с негативными последствиями. Теплота, которую необходимо отводить и рассеивать при работе тепловых и атомных электростанций, составляет около половины того количества энергии, которое выделяется при сжигании топлива. На тепловых станциях большой мощности расходуется около 60 м³ воды для охлаждения 1 т пара. При мощности турбин 500—600 тыс. кВт водопотребление для этой цели составляет 13—15 м³/с летом и 11—18 м³/с зимой. Поэтому при прямоточном водоснабжении крупной конденсационной тепловой электростанции расход сбрасываемых в водоемы отработанных тепловых вод составляет 90 м³/с и более, а в год — до 2,7 км³ (С. П. Горшков, 1998).

Вода, проходя через систему охлаждения конденсаторов турбин, нагревается на 8—14 °С и может достигнуть температуры до 38 °С. Сбрасываемая вода охлаждается за счет испарения и конвек-

ции, которые зависят от турбулентно-диффузионных явлений, имеющих в водоемах, и от способов сброса. Большинство зон сброса подогретых вод и принимающих их акваторий имеют значительные площади. Зимой в зоне подогрева не образуется ледовый покров. Теплым водам свойственны неравномерное распределение токсичных веществ, вариации условий минерализации органического вещества, ускорение течения химических и биохимических реакций и процессов.

При повышении температуры воды до 30—35 °С биологические процессы становятся вялотекущими, а водная экосистема заметно обедненной. На отдельных участках водоема наблюдаются ослабление фотосинтетической деятельности планктона, гибель рыб и других гидробионтов. В придонной зоне обнаруживается большой дефицит кислорода вплоть до появления в ней сероводородного запаха. Ухудшается и санитарно-микробиологическое состояние воды, патогенная микрофлора не только выживает при повышенных температурах, но и способна размножаться. Это делает водоемы-охладители потенциально опасными в эпидемиологическом отношении.

В теплой воде создаются благоприятные условия для размножения грибковых организмов, повышается выживаемость у некоторых гельминтов человека, являющихся паразитами у определенных видов рыб. Важное эпидемиологическое значение имеют данные о распространении в подогретых водах условно-патогенной микрофлоры, с которой связывают более 50 % всех острых кишечных заболеваний.

7.10. Процессы асидификации и эвтрофикации

Развитие процессов *асидификации*, а также причины и факторы их возникновения в атмосфере рассматривались в гл. 6. Кислые поверхностные воды распространены достаточно широко. Из 85 000 озер Швеции около 4000 серьезно подкислены и еще 18 000 подкислены в некоторые критические периоды, особенно во время снеготаяния. В 4500 озерах почти нет рыбы, а 18 000 настолько асидифицированы, что стали почти безжизненными.

В южной части Норвегии тысячи озер асидифицированы и в 1750 отсутствует рыба. В Финляндии асидифицированы 500 из 8000 озер. В Швеции рН воды озер уменьшился от 6 в 1950 г. до 5 и менее в 1970 г., т. е. за 20 лет кислотность выросла в 10 раз. Имеются многочисленные данные о продолжающейся асидификации озер в Канаде, США и Западной Европе. Хотя данные по России отсутствуют, надо полагать, что многие из озер, в том числе и озера, расположенные на Кольском полуострове и в Карелии, подверглись весьма значительной асидификации.

Все биологические процессы в водоемах и речных системах полностью зависят от величины рН. Развитие водорослей и микропланктона, распад микроорганизмов, нитрификация и денитрификация наиболее энергично протекают при рН 6—8. Степень изменения флоры и фауны в водных экосистемах — важный индикатор ацидификации и им пользуются в качестве биоиндикатора. Установлено, что в озерах Канады ракообразные, насекомые, некоторые водоросли и зоопланктон исчезают уже при рН, равном 6. При уменьшении рН, т.е. при возрастании кислотности вод, увеличивается подвижность иона алюминия, который оказывает токсичное воздействие на популяции рыб. При снижении рН среды ниже 5,5 количество видов рыб и их численность в озерах и реках сокращаются. Некоторые популяции рыб исчезают при уменьшении рН среды до 5,0. Подобная картина характерна и для озер Европы.

Уменьшить воздействие кислотности выпадающих атмосферных осадков, как и саму кислотность водоемов, можно путем известкования. В Швеции проводятся работы по известкованию около 3000 озер. Однако проведение подобных мероприятий должно строго контролироваться, так как в противном случае в иловых водах начинают накапливаться тяжелые металлы — кадмий, никель, ртуть, хром, медь и цинк. Эти металлы в определенных количествах содержатся в известняках.

Установлено, что при известковании химическое состояние воды в озерах быстро улучшается, и реакция становится близкой к нейтральной. Биологическое восстановление совершается значительно медленнее, а популяции рыб полностью не восстанавливаются даже спустя пять лет после известкования.

В спокойных водоемах в определенные сезоны года происходит *эвтрофикация* (от греч. «трофе» — питание) — усиление биологической продуктивности водоемов вследствие накопления в воде биогенных элементов. Избыточное поступление таких биогенных веществ, как соединения азота, фосфора, в озера, устья рек, водохранилища, а также в морские заливы приводит к необычайно быстрому росту водных растений, в особенности планктонных микроскопических водорослей и макрофитов. Происходит бурное развитие, или «цветение», водорослей, которое может охватывать всю территорию крупных водохранилищ. После цветения микроводоросли отмирают. На окисление отмершей массы расходуется огромное количество растворенного в воде кислорода, тем самым ухудшается качество воды.

Эвтрофикация приводит к некоторым неблагоприятным экологическим и экономическим последствиям. Ухудшается качество воды, снижается рекреационная ценность водоемов, уменьшается число рыбных популяций, массы водорослей блокируют водосборы, каналы и навигационные пути.

В результате деятельности человека во многих регионах медленно протекающая в природных условиях эвтрофикация резко ускоряется. Начало этого процесса является сигналом проявления серьезных антропогенных глобальных и региональных биогеохимических циклов фосфора и азота. Главные источники поступления единичной азота и фосфора — полеводство, животноводство и коммунально-бытовое хозяйство. Оздоровление водоемов и освобождение их от дополнительного притока соединений азота и фосфора основаны на увеличении эффективности работы очистных сооружений и сокращении их притока во время проведения сельскохозяйственных работ.

Проблема антропогенной эвтрофикации водоемов суши и прибрежных частей морей возникла в 70—80-е годы XX в. В настоящее время появились признаки развития эвтрофикации во многих развивающихся странах, в частности в Бразилии, на Филиппинах, в Китае, Марокко.

11. Дефицит воды и управление водными ресурсами

В мире существует много областей с локальным дефицитом воды. В число таких территорий относятся южные области европейской части России и Урал. Размеры территорий, охватывающих острый дефицит воды, с течением времени увеличиваются, что является важнейшим фактором социально-экономической и политической устойчивости страны. Освоение водных ресурсов при строительстве гидротехнических сооружений приносит не только ожидаемые выгоды, но и значительный геоэкологический ущерб.

Во многих регионах, в том числе и на некоторых территориях России, наблюдается ухудшение состояния водных объектов. Многие локальные кризисы качества воды перерастают в катастрофы, затрагивающие интересы государств. В России проблема сохранения чистой воды переросла в общегосударственную, учитывая масштабы количественного и качественного истощения природных вод. Природные воды в России оказались наиболее подверженными деградации в силу того, что они служат коллекторами загрязнений из других сред в связи со спецификой расположения загрязняющих предприятий и сельскохозяйственных комплексов в верхних и средних течениях основных рек, охватывающих верхние части всех существующих речных бассейнов. Это требует осуществления решительных действий через специальные оздоровительные целевые программы.

Большое значение для улучшения качества природных вод имеет правильное управление водными ресурсами. В городах существует жесткая регламентация качества воды для питьевого водоснабжения и осуществляются меры по экономии воды. Вода может быть

использована в питьевых целях, если после очистки ее качество соответствует ГОСТу. Так, сухой остаток воды должен быть не более 1000 мг/л, содержание сульфатов — 500 мг/л, хлоридов — 350 мг/л, общая жесткость — 7 мг-экв/л, запах и привкус при температуре 20 °С должны равняться двум баллам, в 1 л воды должно содержаться более 10 000 кишечных палочек. Однако и такая вода подвергается обязательному хлорированию и очистке.

Для управления водными ресурсами используются показатели ПДК того или иного вещества, ПДС (предельно допустимый сброс вещества в водный объект) и БПК (биохимическое потребление кислорода). Чем выше БПК, тем больше в воде легко растворимых загрязняющих органических веществ.

Важную роль в преобразовании использованных вод в пригодные для хозяйственных нужд играет управление стоками. Сточными водами называются воды, использованные на производственные или бытовые нужды и получившие при этом дополнительные загрязнения, которые изменили их первоначальный состав или физические свойства, а также воды, стекающие с территории населенных мест и промышленных предприятий после выпадения атмосферных осадков или поливки улиц.

Водохозяйственные службы стремятся к максимально возможной канализации стоков. Под канализацией принято понимать совместное или раздельное отведение сточных вод. Последние разделяются на три категории: бытовые (хозяйственно-фекальные), производственные (промышленные) и атмосферные вместе с поливомочными.

Для очистки сточных вод используют механический, химический и биологический методы. Одним из путей экономии свежей воды и снижения расходов на очистку сточных вод является применение оборотно-повторной системы водопользования. Разрабатываются специальные технологии, в которых предусматривается создание замкнутых систем оборотного водоснабжения и резкое снижение водопотребления.

К гидросфере относятся воды Мирового океана, поверхностные и подземные воды суши. Существует глобальный круговорот воды. Мировой океан — это не только воды, но и гидробионты, берега и дно. Средняя солёность Мирового океана — 35‰. Температурный режим определяется степенью поглощения солнечной радиации и испарением водяного пара. Средняя температура составляет 3,8 °С, средняя плотность — 1,02 г/см³. Мировой океан характеризуется высокой степенью гидродинамики. Кроме ветрового волнения в нем существуют системы поверхностных (теплые и холодные) и глубинных (придонные) течений. Рельеф дна сложен. Выделяются литораль, неритовая область, батиналь, абиссаль и ультраабиссаль. В пределах Мирового океана располагаются следующие геоморфологические элементы: шельф,

материковый склон, ложе, глубоководные желоба, срединноокеанские рифты, гайоты, подводные возвышенности, горы и равнины, рифтовые долины, островные дуги. Биологические ресурсы Мирового океана составляют морские животные, водоросли, фито- и зоопланктон. Мировой океан содержит огромное количество минеральных ресурсов и является источником получения энергии. Экологические функции Мирового океана складываются из ресурсных функций, источника существования и расселения организмов, источника стихийных явлений и власти функционирования человеческого сообщества. Все его экологические функции проявляются во взаимодействии с гидробионтами, атмосферой, литосферой и материковым стоком. Высокая подвижность вод обуславливает возникновение и развитие стихийных бедствий. Уровень океана непрерывно меняется. Существуют короткопериодические и длиннопериодические колебания уровня моря. Антропогенная деятельность вызвала глобальные и региональные загрязнения. Они выразились не только в разрушении берегов и береговых сооружений, изменении солёности и температурного режима, но и в больших объёмах поступающих загрязняющих веществ.

Гидросферу суши составляют реки, озера, болота, ледники, подземные воды и водохранилища. Каждая из этих систем несёт экологические функции, служит источником возникновения стихийных бедствий и в то же время является объектом загрязнения. Большую роль играют водохранилища. Разработана специальная их классификация, различающаяся от классификации озёр. Качество воды изменяется из-за хозяйственной деятельности людей. Это не только промышленные, но и коммунальные и сельскохозяйственные стоки, термическое загрязнение, смена гидрологического режима и т.д. Природные воды загрязняются твёрдыми и минеральными частицами, нефтью и нефтепродуктами, детергентами, биогенными веществами, тяжёлыми металлами. В природных водах суши широко распространены процессы ацидификации и эвтрофикации. Большое значение придается управлению качеством природных вод.

Контрольные вопросы

1. Что такое гидросфера?
2. Какую роль играет Мировой океан в терморегулировании планеты?
3. В чем заключается глобальный круговорот воды?
4. Каковы особенности Мирового океана?
5. Каковы солёность и температура Мирового океана и каково их распределение?
6. Где располагается термоклин?
7. Какие существуют течения в Мировом океане?
8. Что такое цунами и сейши?
9. Какие существуют основные формы рельефа в Мировом океане?
10. Какова биопродуктивность Мирового океана и в чем она состоит?
11. Какие минеральные ресурсы находятся в Мировом океане?

12. Что такое апвеллинг?
13. Что составляет биоресурсы Мирового океана?
14. Какой образ жизни ведут морские организмы?
15. В чем заключаются экологические функции Мирового океана?
16. Какова геологическая роль Мирового океана?
17. В чем заключается ресурсная роль Мирового океана?
18. Какие глобальные и региональные последствия возникли в Мировом океане в результате антропогенной деятельности?
19. Каким образом разграничиваются воды Мирового океана в международной практике?
20. Что входит в состав гидросферы суши?
21. На чем основана классификация озер?
22. Какое воздействие на природную обстановку оказывают водохранилища?
23. Какие стихийные процессы связаны с гидросферой суши?
24. Что такое лимнообразия?
25. Каковы положительные и отрицательные стороны заболачивания?
26. В чем состоит экологическое воздействие лавин и селей?
27. В чем особенность термического загрязнения вод?
28. Какова сейсмическая активность водохранилищ?
29. Каковы особенности загрязнения природных вод?
30. Как развиваются процессы асидификации и эвтрофикации?
31. На чем основано управление качеством природных ресурсов?

Литература

- Авакян А. Б., Широков В. М. Рациональное использование и охрана водных ресурсов. — Екатеринбург, 1994.
- Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Региональная океанология. — М., 1992.
- Залогин Б. С., Кузьминская К. С. Мировой океан. — М., 2001.
- Михайлов В. Н., Добровольский А. Д. Общая гидрология. — М., 1991.
- Степанов В. Н. Природа Мирового океана. — М., 1982.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

8.1. Стрoение Земли

Установлено, что масса Земли равна $5,98 \cdot 10^{27}$ г, объем — $0,83 \cdot 10^{27}$ см³, средний радиус — 6371 км, средняя плотность — 5,2 г/см³, среднее ускорение силы тяжести на земной поверхности достигает 981 Гал. Среднее расстояние от Солнца составляет приблизительно 150 млн км. Скорость движения Земли по орбите равна 29,77 км/с. Полный оборот Земля совершает за 365,26 сут. Период вращения Земли вокруг своей оси равен 23 ч 56 мин. В результате этого вращения возникли небольшое экваториальное выпячивание и полярное сжатие. Поэтому диаметр Земли в экваториальном сечении на 21,38 км длиннее диаметра, соединяющего полюса вращения (полярный радиус равен 6356,78 км, а экваториальный — 6378,16 км).

Фигура Земли описывается *геоидом*, который вне континентов совпадает с невозмущенной поверхностью Мирового океана.

Земля обладает собственным магнитным полем, которое идентично полю, создаваемому магнитным диполем.

Геофизическими исследованиями установлено, что Земля состоит из ядра, мантии и земной коры (рис. 8.1).

Земное ядро состоит из двух слоев — внешнего (жидкого) ядра и внутреннего (твердого). Радиус внутреннего твердого ядра (слой «G») примерно равен 1200—1250 км, толщина переходного слоя «F» между внутренним и внешним ядрами приблизительно равна 140—150 км, а толщина внешнего жидкого ядра, которое начинается с глубины 2870—2920 км, равна примерно 3000 км. Плотность вещества во внешнем ядре монотонно меняется от 9,5—10,1 г/см³ на его поверхности до 11,4—12,3 г/см³ на подошве.

Во внутреннем ядре плотность вещества возрастает и в его центре достигает 13—14 г/см³. Масса земного ядра составляет 32 % всей массы Земли, а его объем — около 16 % объема всей Земли. Земное ядро примерно на 90 % состоит из железа с добавками кислорода, серы, углерода, водорода и, возможно, кремнезема; внутреннее — из железо-никелевого сплава метеоритного состава.

Мантия — силикатная оболочка Земли, расположенная между подошвой земной коры и поверхностью ядра и составляющая 67,8 % общей массы Земли.

По сейсмическим данным мантию делят на *верхнюю* (слой «В» до глубины 400 км), *переходной слой Голицына* (слой «С» от глубины 400 до 1000 км) и *нижнюю* (слой «D» с подошвой примерно на глубине 2900 км). Под океанами в верхней мантии выделяют также слой с пониженной скоростью распространения сейсмических волн — волновод Гутенберга, обычно отождествляемый с *астеноферой* Земли. Считается, что мантийное вещество в этом слое находится частично в расплавленном состоянии. Под континентами ярко выраженная область пониженных скоростей в мантии, как правило, не прослеживается.

Важную границу раздела в верхней мантии представляет собой подошва литосферы — поверхность перехода от охлажденных пород литосферы к частично расплавленному мантийному веществу, перешедшему в пластическое состояние и составляющему астеносферу.

Существующее мнение о составе мантии основано на скоростях прохождения сейсмических волн, сходных с прохождением упругих волн в основных и ультраосновных породах, которые распро-

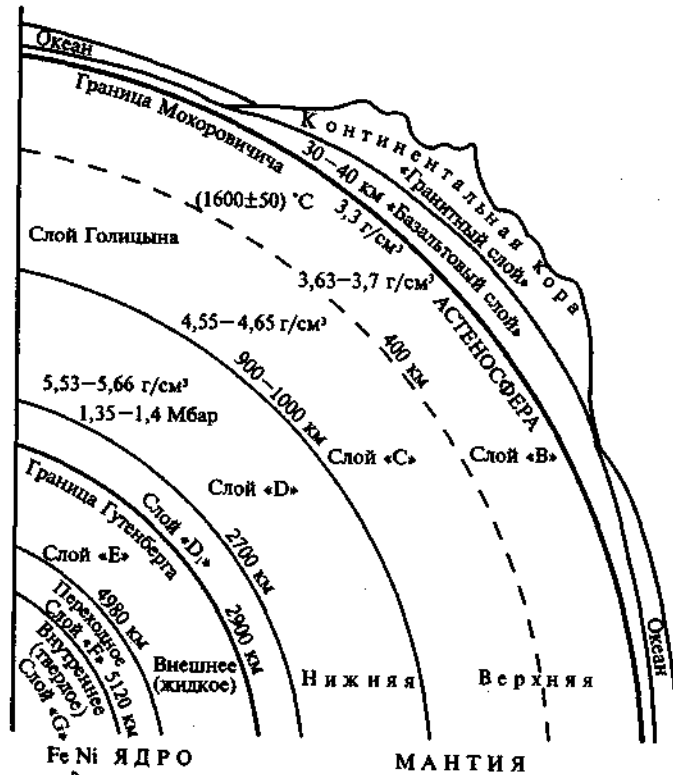


Рис. 8.1. Внутреннее строение Земли

анены в определенных областях земной коры. Предполагается, что эти породы в приповерхностные слои Земли попали из мантии.

Представления о химическом составе глубоких недр Земли основаны на сравнительном анализе метеоритов и сжимаемости силикатов, металлов и их оксидов при высоких температурах и давлениях. Согласно этим данным, мантия имеет ультраосновной состав и ее слагает гипотетическая порода — пиролит, представляющая собой смесь перидотита (75%), толеитового базальта или лерилита (25%). Содержание радиоактивных элементов в мантии довольно низкое — около $10^{-3}\%$ U, $10^{-7}\%$ Th и $10^{-6}\%$ K.

Земная кора отличается от нижележащих оболочек своим строением и химическим составом. Подошва земной коры очерчивается сейсмической границей Мохоровичича, на которой скорости распространения сейсмических волн резко возрастают и достигают $8,2$ км/с.

Поверхность и примерно 25-километровая часть земной коры формируются под воздействием: 1) эндогенных процессов (тектонические или механические и магматические процессы), благодаря которым создается рельеф земной поверхности и формируются толщи магматических и метаморфических горных пород; 2) экзогенных процессов, вызывающих денудацию (разрушение) и выравнивание рельефа, выветривание и перенос обломков горных пород и переотложение их в пониженных частях рельефа. В результате протекания весьма разнообразных экзогенных процессов формируются осадочные горные породы, составляющие самый верхний слой земной коры.

Выделяют два основных типа земной коры: *океанский* (базальтовый) и *континентальный* (гранито-гнейсовый) с прерывистым осадочным слоем. Океанская кора по своему составу примитивна и представляет верхний слой дифференцированной мантии, сверху перекрытый тонким слоем пелагических осадков. В составе океанской коры выделяют три слоя.

Самый верхний слой — осадочный — представлен карбонатными осадками, отложившимися на небольших глубинах до уровня карбонатной компенсации (4—5,5 км). На больших глубинах отлагаются бескарбонатные глубоководные красные глины. Средняя мощность океанских осадков не превышает 500 м и только у подножия материковых склонов, особенно в районах крупных речных дельт, она возрастает до 12—15 км. Вызвано это своеобразной быстротечной «лавиной» седиментацией, когда практически весь терригенный материал, выносимый речными системами с континента, отлагается в прибрежных частях океанов, на материковом склоне и у его подножия.

Второй слой океанской коры в верхней части слагается подушечными лавами базальтов. Ниже располагаются долеритовые дайки

того же состава. Общая мощность второго слоя океанской коры составляет 1,5 км и редко достигает 2 км. Под дайковым комплексом располагаются габбро, представляющие собой верхнюю часть третьего слоя, нижняя часть которого прослеживается на некотором удалении от осевой части срединно-океанских хребтов и слагается серпентинитами. Мощность габбро-серпентинитового слоя достигает 5 км. Таким образом, общая мощность океанской коры без осадочного чехла составляет 6,5—7 км. Под осевой частью срединно-океанских хребтов мощность океанской коры сокращается до 3—4, а иногда и до 2—2,5 км.

Под гребнями срединно-океанских хребтов океанская кора залегает над очагами базальтовых расплавов, выделившихся из вещества астеносферы. Средняя плотность океанской коры без осадочного слоя составляет 2,9 г/см³. Исходя из этого общая масса океанской коры составляет 6,4 · 10²⁴ г. Океанская кора формируется в рифтовых областях срединно-океанских хребтов за счет поступления базальтовых расплавов из астеносферного слоя Земли и излияния толеитовых базальтов на океанское дно (рис. 8.2). Согласно сделанным расчетам, ежегодно из астеносферы поднимается и изливается на океанском дне не менее 12 км³ базальтовых расплавов, благодаря которым формируется весь второй слой и часть третьего слоя океанской коры.

Континентальная кора резко отличается от океанской. Ее мощность меняется от 20—25 км под островными дугами до 80 км под молодыми складчатыми поясами Земли: Альпийско-Гималайским и Андийским.

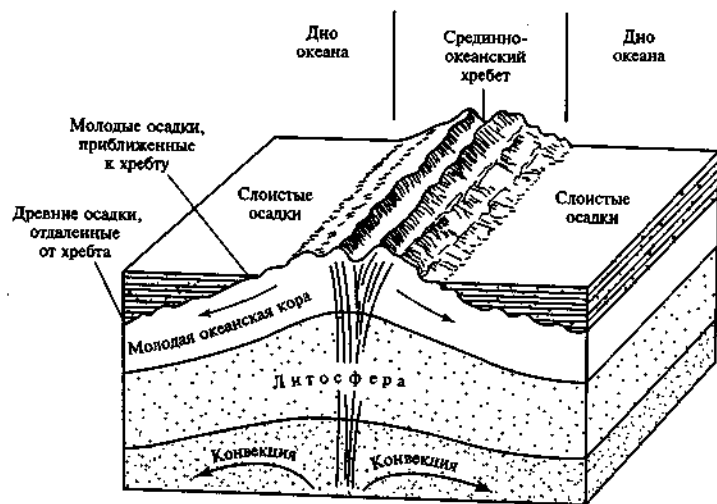


Рис. 8.2. Упрощенная модель срединно-океанского хребта, показывающая, как образуется земная кора

В континентальной коре выделяют три слоя: верхний — осадочный и два нижних, сложенных кристаллическими породами. Мощность верхнего осадочного слоя меняется в широких пределах: от фактического отсутствия на древних щитах до 10—15 км на шельфовых пассивных окраинах континентов и в краевых прогибах платформ. Средняя мощность осадков на стабильных платформах составляет около 3 км.

Под осадочным слоем находятся толщи с преобладанием в них пород гранитоидного ряда. Местами в областях расположения древних щитов они выходят на земную поверхность (Канадский, Балтийский, Алданский, Бразильский, Африканский и др.). Породы «гранитного» слоя обычно преобразованы процессами регионального метаморфизма.

Под «гранитным» слоем располагается «базальтовый» слой, сходный по составу с породами океанской коры. Как континентальная, так и океанская кора подстилаются породами верхней мантии, от которой они отделяются границей Мохоровичича.

Земная кора состоит из силикатов и алюмосиликатов. В ней преобладают кислород (43,13%), кремний (26%) и алюминий (7,45%), представленные главным образом в форме оксидов, силикатов и алюмосиликатов. Средний химический состав земной коры приведен в табл. 8.1.

Литосферой называют каменную оболочку Земли, все компоненты которой находятся в твердом кристаллическом состоянии. Она включает земную кору, подкорковую верхнюю мантию и под-

Таблица 8.1

Средний химический состав континентальной и океанской коры

Оксиды и диоксиды	Содержание в коре, %	
	континентальной	океанской
SiO ₂	61,9	49,4
TiO ₂	0,8	1,4
Al ₂ O ₃	15,6	16,0
Fe ₂ O ₃	2,6	2,3
FeO	3,9	7,6
MnO	0,1	0,2
MgO	3,1	8,0
CaO	5,7	11,4
Na ₂ O	3,1	2,7
K ₂ O	2,9	0,2

стиляется *астеносферой*. В последней вещество находится в пластичном состоянии и вследствие высоких температур частично расплавлено. Ее вещество в отличие от литосферы не обладает пределом прочности и может деформироваться под действием даже очень малых избыточных давлений.

Предполагают, что литосферные плиты образуются за счет остывания и полной кристаллизации частично расплавленного вещества астеносферы. Нижняя граница литосферы совпадает с изотермой постоянной температуры, соответствующей началу плавления перидотита и равной приблизительно 1300 °С. Переменная мощность литосферы объясняется вариацией геотермического режима литосферы и мантии в различных участках земного шара.

В связи с пластичностью астеносфера слабо сопротивляется сдвиговым напряжениям и допускает движения литосферных плит относительно нижней мантии. Подошва астеносферы находится на глубине 640 км и совпадает с местоположением очагов глубоководных землетрясений.

В океанах толщина литосферы варьирует от нескольких километров под рифтовыми долинами срединно-океанских хребтов до 100 км на периферии океанов. Под древними щитами толщина литосферы достигает 300—350 км. Наиболее резкие изменения в толщине литосферы наблюдаются вблизи осевой части срединно-океанских хребтов и у границ континент — океан, где соприкасается континентальная и океанская кора литосферы.

8.2. Понятие о геологической среде

В геологическую науку понятие о геологической среде было введено академиком Е.М. Сергеевым и развито его учениками и последователями. Под *геологической средой* обычно понимают верхнюю часть литосферы, находящуюся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека. Таким образом, толщина, или мощность, геологической среды определяется глубиной проникновения в толщу горных пород глубоких и сверхглубоких буровых скважин. На континентах она в среднем составляет 5—6 км, а самая глубокая скважина (Кольская) проникла в толщу горных пород на глубину, немногим превышающую 12 км. В океанах с судов «Гломар Челленджер» и «Джойдес Резолюшн» пробурено около 800 скважин, которые углубились от морского дна на 1—1,5 км.

Таким образом, геологическая среда — это область наиболее активного тектогенеза, оказывающая существенное воздействие на наземные и подземные сооружения, агротехнические и другие условия хозяйственной деятельности. Области, охватываемые геологической средой в этом понимании, будут непрерывно увеличиваться по мере освоения человеком глубоких недр и проникнове-

ния в них. Следовательно, с увеличением глубины проникновения человека в недра не только число геологических объектов, но и сам объем геологической среды будут непрерывно расти.

В отличие от сугубо техногенного понимания геологическую среду необходимо рассматривать значительно шире: это среда, в которой совершаются любые геологические процессы. Минералообразование и процессы образования горных пород протекают в различных структурных элементах Земли с разной скоростью и направленностью. На континентах — это осадочный, гранито-гнейсовый и базальтовый слои, т.е. по своей сути практически вся континентальная литосфера, а в пределах океанов — осадочный и базальтовый слои, т.е. океанская литосфера.

Деятельность геолого-геохимических процессов, которые протекают в астеносфере, в верхней и нижней мантии, а также в земном ядре, обязательно в той или иной форме отзывается в литосфере: проникновение плутов в литосферу, появление расплавленного вещества, перемещение литосферных плит.

Однако наибольшие видоизменения геологическая среда претерпевает в литосфере, особенно в ее самой верхней части. Здесь геологическая среда находится в зоне воздействия современных тектонических движений, которые проявляются в форме разнообразных дислокаций. Наиболее универсальным и повсеместно распространенным типом современных дислокаций, имеющих первостепенное геозоологическое значение, являются активно действующие разрывные нарушения, приводящие к трещиноватости. Кроме них большая геозоологическая роль принадлежит и активным коровым разрывам различной морфологии (сбросам, сдвигам, взбросам, надвигам, раздвигам), а также крупным деформациям и перемещениям блоков земной коры (горсты, грабены). Все они формируют рельеф и затрудняют инженерно-хозяйственную деятельность человека.

Геологическая среда создает аномальные геофизические (магнитные, гравитационные, электромагнитные, геотермические и др.) и геохимические поля и аномалии, которые влияют не только на хозяйственную деятельность людей, но и на здоровье и состояние органического мира.

8.3. Экологические функции литосферы

В публикациях и директивных материалах, посвященных геозоологической проблеме, большое внимание уделяется вопросам загрязнения атмосферы, Мирового океана, состояния поверхностных и подземных вод суши, состояния и охраны почв, степени трансформации природных ландшафтов, т.е. в основном географической оболочке. Литосфера как таковая в них никак не выделя-

ется, несмотря на то что она служит геологической основой ландшафта и является к тому же средой обмена веществом и энергией с другими геосферами. В определенных аспектах внимания удостоены проблемы истощения минерально-сырьевых ресурсов, которые заключены в поверхностной части литосферы, и загрязнения природной среды в процессе добычи, обогащения и переработки минерального сырья.

Однако надо учитывать и то обстоятельство, что литосфера является накопителем и хранителем поверхностных и подземных вод. Она обеспечивает биоту неорганическими питательными веществами, содержит минеральные и энергетические ресурсы, необходимые для существования и развития человеческого общества.

Экологические функции литосферы как планетарной геосистемы вместе с протекающими в ней геологическими процессами (как природными, так и антропогенными) можно определять на осно-



Рис. 8.3. Экологические функции литосферы

ании той роли, какую они играют в жизнеобеспечении и эволюции биоты и главным образом человеческого общества.

В. Т. Трофимов с соавторами (1995, 1997, 1998) рассматривают экологические функции литосферы как «держателя» минерально-сырьевых и энергетических ресурсов, источника геодинамических процессов и геофизико-геохимических полей. Экологические функции литосферы представлены на рис. 8.3.

Ресурсная функция литосферы. Ресурсная функция литосферы определяет значение минерального, органического и органоминерального сырья литосферы, составляющего основу для жизни и деятельности биоты как в качестве биогеоценоза, так и антропогеоценоза. По мнению В. Т. Трофимова и др. (1997), она включает следующие аспекты: ресурсы, необходимые для жизни и деятельности биоты; ресурсы, необходимые для жизни и деятельности человеческого общества; ресурсы как геологическое пространство, необходимое для расселения и существования биоты, в том числе человеческого общества. Первые два аспекта связаны с минерально-сырьевыми ресурсами, а последний — с экологической емкостью геологического пространства, в пределах которого происходит жизнедеятельность организмов.

Минерально-сырьевые ресурсы относятся к категории исчерпаемых, и все они, за исключением подземных вод, являются невозобновляемыми. На протяжении всей своей истории человеческое общество в разных объемах использовало минеральные ресурсы, причем объем добываемого сырья непрерывно возрастал. Одновременно увеличивалось число извлекаемых химических элементов и соединений: если в XVIII в. — 18 химических элементов и соединений, в XIX в. — 35, в 1917 г. — 64, в 1975 г. — 87, то в 90-е годы XX в. — 106 элементов Периодической системы Д. И. Менделеева. В настоящее время ежегодно из недр добывается около 100 млрд т минерального сырья. Возникает угроза истощения месторождений полезных ископаемых. По прогнозам некоторых специалистов, запасы многих видов минерального сырья иссякнут к середине XXI в., а свинца и цинка хватит только на первые десятилетия третьего тысячелетия.

В литосфере заключены горные породы, которые содержат в себе биофильные элементы, т.е. химические элементы, растворимые в водной среде и в то же время жизненно необходимые организмам. Они еще называются биогенными элементами. Литосфера, кроме того, является вместилищем подземных вод, а также содержит вещества, употребляемые в пищу определенными животными — литофагами.

Жизнедеятельность биоты обеспечивают существующие в природе, в том числе и происходящие в литосфере, биогеохимические циклы. Согласно Г. А. Богдановскому (1994), это более или менее замкнутые пути циркуляции химических элементов, входящих в

состав клеточной протоплазмы, из внешней среды в организм и уходящих вновь во внешнюю среду. Выделяют два типа биогеохимических цикла: круговорот газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере и океане; осадочный цикл с резервным фондом в земной коре.

Развитие человеческого общества невозможно без использования минеральных ресурсов. Благодаря им человечество обеспечивает свои потребности в энергии, удобрениях, жилье, транспорте, связи. Сегодня к этой категории добавились средства получения, передачи, обработки и анализа информации. Ежегодно из недр извлекается порядка 17—18 млрд т горной массы.

К числу полезных ископаемых относятся и подземные воды. Они используются в качестве хозяйственно-питьевого водоснабжения (10,34 км³/год), для технического водоснабжения (2,66 км³/год), орошения земель и обводнения пастбищ (0,51 км³/год), в лечебных целях, в качестве геотермальных источников, для добычи ряда ценных компонентов (йод, бром, бор, литий, стронций, поваренная и калийная соль).

Большую роль литосфера играет в качестве геологического пространства, необходимого для расселения и существования биоты, в том числе и человека. С одной стороны, приповерхностные участки литосферы являются местом обитания биоты (обитатели пещер, норные и землеройные животные, микроорганизмы), а с другой, ее подземные пространства используются на урбанизированных территориях: для строительства подземных коммуникаций, транспортных магистралей, расположенных на подземном уровне объектов, а также как вместилища для захоронения высокотоксичных и радиоактивных отходов. Однако продолжающееся строительство подземных инженерных объектов нередко приводит к обострению экологических проблем. Объекты геологической среды, используемые для этих целей, весьма ограничены и в большинстве регионов довольно быстро становятся источниками острых экологических кризисных ситуаций.

Долгое время существовало представление о том, что территории континентов неисчерпаемы для расселения и жизнеобеспечения биоты, в том числе человека. Однако в эпоху техногенеза земная поверхность и геологическая среда стали важным природным и экологическим ресурсом. Сегодня человечество освоено около 55 % поверхности суши, причем существует тенденция нарастания этого процесса. В настоящее время человечество сталкивается с тем, что дальнейшее размещение урбанизированных территорий сопряжено как с преодолением природных трудностей, так и с большими материальными затратами.

Как отмечают в своей монографии В. Т. Трофимов с соавторами (1997), специфика земельного ресурса заключается в том, что его изучением и оценкой занимаются науки не только геологичес-

кого, но и географического и почвоведческого направлений. Геологи рассматривают ресурсную сторону с позиций рационального использования геологического пространства, географы — с позиций рационального использования ландшафта, а почвоведы — с позиций рационального использования почв для сельского хозяйства. Все вместе они должны оценивать рациональность и возможность использования той или иной территории с позиций экологии.

Геодинамическая функция литосферы. Согласно В. Т. Трофимову с соавторами (1997), под геодинамической функцией литосферы понимается способность последней к проявлению и развитию природных и антропогенных геологических процессов и явлений, в той или иной мере влияющих на условия жизнеобитания и жизнедеятельности биоты и особенно человеческого общества. Надо особо подчеркнуть, что данная функция осуществляется с момента возникновения биоты, а ее становление и развитие неразрывно связаны с эволюцией Земли и биосферы. Как известно, вся история Земли полна кризисных ситуаций и катастрофических явлений глобального и регионального масштабов. Наряду с катастрофическими ситуациями в истории Земли существовали эпохи относительного спокойствия, когда развитие органического мира протекало плавно в соответствии с установившимися природными (физико-географическими) условиями. На современном этапе для геологического направления важно оценить геологическую роль и значимость антропогенных процессов, выявить их направленность и определить возможность перерастания в глобальные катастрофические геологические процессы.

Характерной чертой геодинамической функции литосферы является ее возможность проявляться в форме как негативного, так и позитивного отношения к развитию и пространственному распространению биоты. Это отношение может быть прямым и опосредованным, т. е. может проявляться через ресурсную или геофизико-геохимическую функции.

В рамках этой функции должны рассматриваться геодинамические процессы и явления, непосредственно влияющие на условия существования биоты. Исходя из степени воздействия на биоту, в том числе и на человека, все геодинамические процессы можно разделить на две группы. Одни процессы в силу своей масштабности и скорости проявления не способны оказывать прямого негативного влияния на живые организмы, а другие действуют на биоту в форме катастрофических явлений и стихийных бедствий и, таким образом, являются опасными природными процессами. К первым относятся, например, перемещения литосферных плит, тектонические медленные вертикальные и горизонтальные движения, такие геологические процессы, как выветривание, денудация, транспортировка осадочного материала и осадконакопление. К катастрофическим геологическим явлениям относятся те из них,

которые из-за кратковременности своего проявления быстро разрушают привычную природную структуру и систему обитания биоты, нарушают условия жизни человека и приводят к жертвам.

По данным ЮНЕСКО, в настоящее время около 0,5 млрд человек проживают в районах с высокой повторяемостью катастрофических землетрясений. Около четверти населения земного шара проживает в районах, подверженных риску стихийных природных явлений.

Все известные катастрофические и неблагоприятные природные и антропогенные явления, связанные с литосферной оболочкой, можно разделить на две крупные группы. К первой группе относятся процессы и явления, не несущие непосредственной угрозы для существования биоты, но влияющие на условия проживания человека, изменяя их. Однако в силу высокой приспособляемости органического мира нередко их воздействия на биоту оказываются минимальными. Для человека эти природные явления меняют только условия комфортности жизни. К их числу относятся ветровая эрозия и дефляция, водная эрозия, перенос вещества и аккумуляция, суффозия, заболачивание, формирование термокарста, новообразование и деградация многолетней мерзлоты, формирование карста. Негативность воздействия катастрофических природных явлений весьма высока. К особо опасным природным явлениям относятся землетрясения, извержения вулканов взрывного характера, оползни, обвалы и камнепады, провалы и т.д.

Геофизико-геохимическая функция литосферы. Эта функция определяется как свойство геофизических и геохимических полей (неоднородностей) природного и антропогенного происхождения, способное влиять на состояние биоты и здоровье человека.

Вся земная поверхность состоит из мозаично распределенных неких усредненных значений разнообразных химических элементов и физических параметров среды. Участки с высоким содержанием химических элементов, сильно отличающимся от геохимического фона, называются участками с *геохимической аномалией*. Выделяются естественные геофизические поля — магнитное, гравитационное, геотермическое и искусственно возбужденные электрические поля постоянных токов и *геофизические аномалии*. Геохимические и геофизические аномалии в оболочках Земли нередко называют *геопатогенными зонами*, хотя трактовка данного термина до сих пор неоднозначна.

Ряд ученых рассматривает геопатогенные зоны как области аномального проявления свойств атмосферы, гидросферы, литосферы и глубинных недр планеты, негативным образом отражающихся на состоянии органического мира, в том числе и человека. В связи с этим геопатогенезом называют совокупность геолого-геофизических условий, сопутствующих развитию патогенных отклонений в живых организмах.

Существование аномалий, или геопатогенных зон, связано с тем, что в литосфере имеются вертикальные и горизонтальные неоднородности и существуют проницаемые зоны, через которые вносятся заметные искажения в состав энергетических полей и в распределение химических элементов в областях тектонических нарушений.

8.4. Ресурсные функции литосферы

Литосфера представляет собой одну из главнейших составляющих геологической среды, с геодинамической деятельностью и составом которой человечество сталкивается ежеминутно. Ресурсная функция литосферы предопределена минеральными, органоминеральными и органогенными ресурсами, которые принимают участие в ее строении. Они крайне необходимы для жизни и деятельности биоты, выступая в качестве одной из составляющих экосистем, а также для жизнедеятельности человеческого общества. Ресурсы литосферы включают следующие аспекты: ресурсы, необходимые для жизнедеятельности биоты; ресурсы, необходимые для жизни и деятельности человеческого общества; ресурсы как геологическое пространство, которое необходимо для расселения и существования биоты и человеческого общества. Если два первых аспекта напрямую связаны с минеральными ресурсами Земли, то последний — исключительно с геологическим пространством, которое охватывает приповерхностную и поверхностную части литосферы.

Минеральные ресурсы относятся к категории исчерпаемых ресурсов и абсолютное большинство из них являются невозобновляемыми. Они играют первостепенную роль в жизни человеческого общества, определяя его материальный и научно-технический уровень. Начиная с глубокой древности число минеральных ресурсов и объемы их добычи и использования непрерывно возрастали. В палеолите добыча сырья ограничивалась лишь теми горными породами, которые могли явиться сырьем для изготовления каменных орудий. Позднее в сферу деятельности стали вовлекаться руды металлов — сначала олова и меди, а затем и железа. Динамика извлечения и использования минерального сырья за последние века резко выросла. Исходя из существующих прогнозов запасы ряда видов минерального сырья начнут иссякать к середине XXI в.

Ресурсы литосферы, необходимые для жизнедеятельности биоты. Они представлены горными породами и минералами, которые включают химические элементы биофильного ряда, жизненно необходимые для роста и развития организмов, кудюриты — минеральное вещество кудюров, являющегося минеральной пищей литофагов, и подземные воды. Углерод, кислород, азот, водород, кальций, фосфор, сера, калий, натрий и ряд других элементов

требуются организмам в значительных количествах, поэтому они называются макробиогенными. Микробиогенными элементами для растений являются Fe, Mn, Cu, Zn, B, Si, Mo, Cl, V, Ca, обеспечивающие процессы фотосинтеза, азотного обмена и метаболическую функцию. Для животных требуются те же элементы, кроме бора. Часть из них они получают, используя в пищу продуценты, а часть — из минеральных соединений и природных вод. Кроме того, для животных (консументов первого и второго порядков) дополнительно требуются селен, хром, никель, фтор, йод и др. Эти элементы в малых количествах жизненно необходимы для деятельности организмов и выполнения биогеохимических функций.

Одни из перечисленных элементов находятся в газообразном состоянии в атмосфере, другие растворены в водах гидросферы или находятся в связанном состоянии в почвенном покрове и в литосфере. Растения (продуценты) извлекают в процессе своей жизнедеятельности эти элементы непосредственно из грунтов вместе с почвенными и грунтовыми водами.

Минеральные вещества кудюров являются эпизодической пищей травоядных (консументы первого порядка) и всеядных (консументы третьего порядка) животных. Они употребляют их вместе с пищей по крайней мере два раза в год. Кудюры предназначены для регуляции солевого состава организма. В основном это минералы группы цеолитов. Стимуляторами роста растений, животных и рыб кроме цеолитов являются такие глинистые минералы, как бентониты, палыгорскиты, а также глауконит и диатомит.

Подземные воды — основа для существования биоты, определяют направленность и скорость биохимических процессов растений и животных.

Минеральные ресурсы, необходимые для жизни и деятельности человеческого общества. К ним относятся все существующие полезные ископаемые, которые используются человечеством для производства необходимых материалов и энергии. В настоящее время из недр извлекается более 200 видов полезных ископаемых и объем годовой добычи минерального сырья достигает порядка 20 млрд т горной массы в год. Наиболее важные группы полезных ископаемых и основные направления их использования показаны на рис. 8.4.

Экологическое значение подземных вод огромно. Основные направления их использования и объемы потребления (км³/год) приведены ниже:

Хозяйственно-питьевое водоснабжение	10,34
Техническое водоснабжение	2,66
Орошение земель и обводнение пастбищ	0,51
Лечебное (бальнеологическое и минеральное) геотермальное	0,35
Промышленное (извлечение поваренной соли, йода, брома, бора, лития, стронция)	0,25

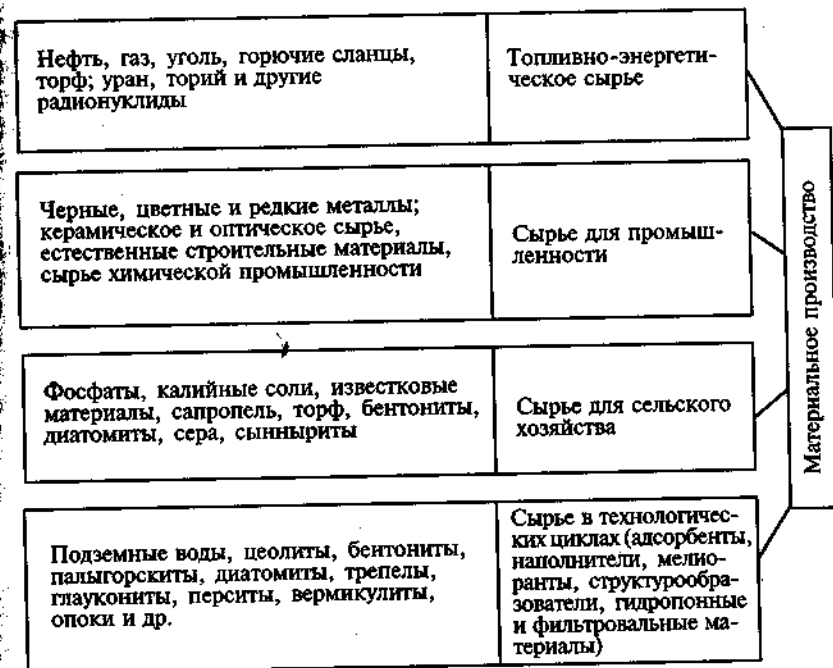


Рис. 8.4. Схема использования основных природных ресурсов литосферы

Геологическое пространство. Оно заключается в рассмотрении литосферы как области обитания биоты (поверхность литосферы используется норными и землеройными животными и микроорганизмами), так и инженерно-геологической деятельности человека.

Любая хозяйственная деятельность человека немислима без осуществления строительства зданий жилого и промышленного назначения, строительства предприятий, подземных коммуникаций, транспортных магистралей, подземных выработок или открытых карьеров при добыче полезных ископаемых. Все строительные работы проводятся только после детальных изыскательских работ, определяющих способность грунта нести соответствующую нагрузку.

Наряду с этим оценка ресурсной функции литосферы связана с размещением в геологическом пространстве захоронений высокотоксичных и радиоактивных отходов. Надо учитывать, что объемы геологического пространства, пригодные для этих целей, весьма ограничены. Все проблематичнее становится отыскивать пригодные и безопасные места для размещения отходов и промышленно-бытовых свалок.

В эпоху техногенеза земная поверхность стала важным природным и экологическим ресурсом. В настоящее время освоено мно-

гим более 55 % поверхности суши и существует тенденция дальнейшего нарастания этого процесса. И если для стран с большими земельными ресурсами проблема размещения промышленных, сельскохозяйственных и бытовых отходов еще не стала актуальной, то для небольших по площади государств с высокой плотностью населения она превратилась в важнейший фактор социального развития. Ярким примером в этом отношении стала Япония, которая вынуждена засыпать прибрежные участки морских акваторий и осуществлять строительство на насыпных грунтах. Другие страны, например Голландия, с помощью дамб защищают земельные угодия от затопления морем. Следовательно, не только земли сельскохозяйственного назначения являются ценным природным ресурсом, но и земли, предназначенные для промышленного, гражданского и транспортного строительства, имеют большую ценность.

8.5. Неблагоприятные геодинамические процессы

На состояние геологической среды негативное влияние оказывают экзогенные и эндогенные процессы. К числу поверхностных относятся денудационные, гравитационные склоновые процессы, формирующие осыпи, оползни; процессы, происходящие в областях развития многолетнемерзлых пород или в криолитозоне и в областях активной циркуляции подземных вод. Проявлениями неблагоприятных эндогенных процессов являются зоны сейсмичности и сейсмоактивные разрывные нарушения, вулканические явления и сопутствующая им сульфатарно-фумарольная деятельность. Однако надо иметь в виду, что деятельность эндогенных и экзогенных процессов нередко оказывается взаимообусловленной. Например, вулканические извержения часто сопровождаются землетрясениями, хотя землетрясения могут возникать в местах полного отсутствия вулканической деятельности. Как извержения вулканов, так и землетрясения вызывают обвалы и камнепады, оползни, провалы и меняют характер циркуляции подземных вод.

8.5.1. Экзогенные процессы

Денудация суши и эрозия почв. Земная поверхность, взаимодействуя с атмосферой, гидросферой и биосферой, в соответствии со спецификой экзодинамических процессов денудирована как с поверхности, так и разрушается изнутри. Находясь в совершенно иных термодинамических физико-химических условиях, чем в областях своего образования, горные породы начинают разрушаться, подвергаясь выветриванию — наиболее универсальному и важному процессу внешней геодинамики. Выветривание — это совокупность сложных процессов физического разрушения, химического и био-

химического разложения минералов и горных пород. Как известно, процессы выветривания вызваны суточными и сезонными колебаниями температуры, механическим воздействием замерзающей воды, корневой системой растений и роющими животными, химическим воздействием воды, углекислоты и кислорода, биохимическим воздействием органических кислот.

На первом этапе выветривания происходит дезинтеграция горных пород и образуются обломки различной размерности. В дальнейшем под влиянием химических и биохимических процессов изменяется минеральный и вещественный состав горных пород и формируются различные глинистые минералы.

Образовавшийся в процессе выветривания каменный материал разного размера удаляется. Основная масса вещества выносится с суши речным стоком, стоком покровных ледников, ветром, подземным стоком в моря и океаны. Вещество удаляется как во взвешенном состоянии, так и в форме истинных и коллоидных растворов.

Оценка денудации суши по величинам отдельных потоков в настоящее время отсутствует. Недавно количественные оценки выноса материала с суши привел в своем учебнике С. П. Горшков (1998).

1. Вынос вещества с речным стоком в океан. Вынос взвешенных веществ реками в океан с площади 104,8 млн км² составляет 5,7 млрд т/год. С суши ежегодно вещество выносится в растворенном состоянии в виде ионного стока (CO₃²⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺). В океан попадает 2,28 млрд т/год, а в бессточные водоемы — 0,20 млрд т ежегодно. Поверхностные воды выносят в коллоидной форме Al, Si, Fe, биогены (соединения азота, фосфора и др.) и микроэлементы. В океан их выносится ежегодно около 0,23 млрд т.

2. Поток моренного материала покровных ледников. Антарктический ледник ежегодно сбрасывает в океан 0,69 км³ (или 1,92 млрд т) твердого вещества. На долю покровных ледников северного полушария приходится 0,47 млрд т ежегодно.

3. Поток продуктов абразии в океан. Количество материала, теряемого сушей за счет разрушения берегов Мирового океана, оценивается величиной 0,65 млрд т.

4. Поток эолового материала в океан. Велика роль ветра не только в разрушении суши, особенно в аридных областях, но и в транспортировании тонкого обломочного материала. Потоками воздуха ежегодно переносится от 2 до 7,5 млрд т.

5. Поток растворенных веществ подземного стока. Величина ионного подземного стока оценивается в 0,93 млрд т/год, а вынос растворенных соединений равен примерно 1 млрд т/год.

6. Аккумуляция осадков в озерах и водохранилищах. Суммарная седиментация в пределах озер составляет 4,83 млрд т/год.

Современный темп заиливания водохранилищ оценивается в 13,38 млрд т/год.

7. **Сбрасывание твердых отходов техническими средствами.** В современную эпоху большое распространение приобрел дампинг — прямое сбрасывание отходов в конечные водоемы стока. В настоящее время объем сбрасываемого материала превышает 1 млрд т/год.

8. **Высвобождение fossilized компонентов атмосферы и гидросферы.** К таким компонентам относятся вода, углерод, водород и азот. Как показали расчеты, освобождение fossilized воды горных пород при денудации имеет незначительные масштабы и составляет 0,1 млрд т/год, но достаточно большой объем углекислого газа и азота fossilized из атмосферы и гидросферы различного рода беспозвоночными.

В процессе денудации суши происходит окисление значительного количества рассеянного в осадочных породах органического вещества. Общее количество ежегодно окисляемой органики составляет 0,2 млрд т. Почвы мира безвозвратно теряют за счет окисления около 1 млрд т гумуса. Здесь не учтен гумус, выносимый воздушными и водными путями в бассейны седиментации.

9. **Топливная денудация.** Довольно велики потери вследствие сжигания ископаемого топлива. Это ведет к высвобождению fossilized литосферных флюидов углерода, водорода, азота и воды. Среднее значение топливной денудации, подсчитанная С. П. Горшковым, составляет 7,8 млрд т. Надо отметить, что в приводимую величину не включены данные по сжиганию горючих сланцев и торфа, мировая добыча которых достигает нескольких сотен миллионов тонн в год. Величина общей денудации суши (млрд т/год), зависящая от потоков денудированного вещества, приведена ниже:

Общее изъятие вещества суши	54,55
Вынос в океан	27,24
Поток твердого вещества речного стока	17,44
Поток растворенных веществ речного стока	2,71
Поток моренного материала	2,39
Поток продуктов абразии	0,70
Поток эолового материала	2,00
Поток растворенных веществ прямого подземного стока	1,00
Дампинг	1,00
Улавливание во внутренних водоемах	18,21
Аккумуляция в озерах	4,83
Аккумуляция в водохранилищах	13,38
Высвобождение fossilized компонентов атмосферы и гидросферы	9,10
Окисление почвенного гумуса	1,00
Окисление органического вещества стратисферы при денудации	0,20
Высвобождение воды из минералов и мерзлых пород	0,10

Топливная денудация	7,80
Общее поступление вещества на сушу	2,16
Поток циклических солей	0,58
Связывание компонентов атмосферы и гидросферы в минералах	1,48
Аккумуляция при образовании торфяников	0,10
Баланс денудации суши	52,39

Области материкового оледенения суммарной площадью около млн км² теряют всего 2,39 т/год вещества литосферы. В то же время с остальной суши, площадь которой без озер и водохранилищ близка к 130 млн км², поставляется в бассейны конечного стока 52,16 млрд т/год.

Ускоренная денудация суши, не покрытой ледниками, вызвана, вероятно, воздействием производства на природные ландшафты их трансформацией в антропогенные. Последние занимают около 2/3 площади суши. Согласно исследованиям, проведенным в США, эрозионный снос в местах строительства автострад, зданий торговых центров в 10 раз больше, чем с полей с пропашными культурами, в 200 раз больше, чем с пастбищ, и в 2000 раз больше, чем с залесенных площадей.

Надо отметить, что не весь сносимый материал теряется сушей безвозвратно. Большая часть его скапливается в местах наземной аккумуляции, которыми служат террасы, пологие участки склонов и их основания, днища логов, балок и оврагов, а также речные русла.

Резкая интенсификация денудации суши, вызванная хозяйственной деятельностью, отражается на особенностях разноса вещества в седиментации во внутриконтинентальных водоемах. В водохранилищах на каждом квадратном километре площади скапливается в 17 раз больше осадков, чем в озерах. Вполне вероятно, что заиливание происходит пока еще за счет более экономной природной денудации, тогда как донные осадки водохранилищ формируются за счет антропогенного изменения режима экзодинамических процессов. Утратив значительную часть твердого стока при проходе через водохранилище, речная вода ниже плотины постепенно приобретает первоначальную мутность, если отрезок реки ниже плотины составляет более 500 км в длину. При этом материалом для эрозии служат в первую очередь аллювиальные образования dna долины. Там же, где вынос наносов реками вследствие их зарегулирования водохранилищами значительно уменьшился, интенсифицировались абразионные процессы. Именно по этим причинам в настоящее время интенсивно абрадируются дельты рек Миссисипи, Колорадо, Нила и др.

В настоящее время особое значение приобрела борьба с водной эрозией. Различают линейную, или овражную, и плоскостную водные эрозии.

В результате наблюдений установлено, что 30 % оврагов росли в длину со средней скоростью до 2 м в год, около 38 % — на 3—8 м, 23 % — на 10—40 м и почти 9 % увеличивались ежегодно на 50 м.

Во многих районах овраги расчленили большие площади земель на мелкие и неудобные, а часто и вовсе непригодные для обработки. Овражная эрозия снижает возможность увеличения сбора сельскохозяйственной продукции. Летом овраги создают условия для увеличения поверхностного стока осадков, зимой облегчают возможность сдувания со склонов снежного покрова и в целом снижают уровень грунтовых вод на прилегающих площадях.

Овраги затрудняют строительство дорог и увеличивают их стоимость. Они разрушают автомобильные дороги и железнодорожные магистрали, различные жилые и промышленные сооружения. Продуктами смыва и размыва оврагов заиливаются реки, озера и водохранилища.

Наиболее опасным с точки зрения сельскохозяйственного производства является плоскостной смыв. Интенсивные эрозионные процессы протекают на постоянно обрабатываемых землях лесостепной и степной зон, в предгорных и горных районах.

В настоящее время разработан комплекс агротехнических мероприятий, который включает следующие приемы по борьбе с водной эрозией: обработку поля поперек склона, контурную пахоту, кротование и щелевание почвогрунтов, прерывистое боронование зяби, залуживание, посадку многолетних насаждений.

Лесомелиоративные мероприятия охватывают следующий комплекс работ: посадка прибалочных и приовражных лесополос, сплошное облесение оврагов, посадка лесов на водораздельных склонах, по берегам рек, прудов и водоемов.

Гидротехнические сооружения оказывают прямое воздействие на поверхностный сток и являются одним из эффективных средств борьбы с водной эрозией. В зависимости от назначения противоэрозионные гидротехнические сооружения подразделяют на водонаправляющие, водозаборные (водосборные и водосбросные), дноукрепляющие.

К водонаправляющим сооружениям относятся водонаправляющие валы и нагорные каналы, валы-распылители и каналы-распылители.

В состав водосборных противоэрозионных сооружений входят: валы-каналы, валы-террасы, пруды и микроканалы.

Водосбросные сооружения включают перепады, быстротоки, консольные, шахтные и трубчатые водосбросы.

К дноукрепляющим сооружениям относятся запруды и полузапруды, донные перепады и пороги.

Гравитационные процессы. Они выражаются в перемещении массы горных пород под действием силы тяжести из возвышенных участков рельефа в пониженные. Ввиду того что они наиболее часто проявляются на склонах, их нередко называют склоновыми

процессами. Скорость и масштабы перемещения обломочного материала зависят от крутизны склона и объема подготовленного к перемещению материала. Склоновые процессы проявляются на склонах гор и возвышенностей, на бортах речных долин и на крутых берегах морей и озер. Причиной вывала из состояния равновесия массы горных пород могут быть землетрясения, подмыв склонов при боковой эрозии, абразия, деятельность подземных вод и антропогенная деятельность.

Образовавшиеся в процессе гравитационного перемещения осадки, или коллювий, состоят из разнообразных по величине и составу обломков горных пород — глыб, щебня, гравия, песка, алеврита и пелита. Перемещение обломочного материала совершается с разной скоростью — либо медленно, либо мгновенно. К последним относятся обвалы, камнепады, оползни и осыпи.

Обвалы развиваются на отвесных обрывистых или очень крутых склонах. Под действием физического выветривания на склонах закладывается все расширяющаяся система параллельных трещин. Часть пород, отделенная от коренного массива, отклоняется в сторону склона, а затем под действием силы тяжести опрокидывается на поверхность склона, распадаясь на отдельные обломки.

Самые крупные обвалы связаны с землетрясениями. Во время крупного землетрясения в 1911 г. на Памире обрушилась масса горных пород объемом 8 млрд т в долину р. Мургаб. Вследствие обвала река была перегорожена плотиной высотой 600 м, и возникло высокогорное Сарезское озеро глубиной около 500 м и площадью 86,5 км².

Камнепады — разновидность обвалов. Отличаются размером перемещаемых блоков. Во время камнепадов вниз по склону движутся отдельные глыбы и крупный щебень.

Осыпи — скопления легко подвижной массы горных пород, состоящей из щебня и дресвы (продуктов физического выветривания). Под влиянием силы тяжести осыпи медленно перемещаются вниз по склону.

Оползни возникают в том случае, когда склон сложен водоносными и водоупорными породами. Могут двигаться крупные блоки твердых пород (блоковые оползни) и отдельные глыбы (глыбовые оползни).

Скорость движения оползней различна. Одни за год проходят расстояние около 100 м, другие перемещаются существенно быстрее и представляют собой опасные природные явления, способные накрыть жилые здания и хозяйственные постройки и привести к человеческим жертвам.

По происхождению различают оползни: сейсмогенные, вызванные землетрясениями; возникающие при насыщении поверхности склонов водой и изменении их наклона; антропогенные — как результат неправильной хозяйственной деятельности. Причиной сме-

щения массы рыхлых пород может быть подмыв участка склона водоупорным горизонтом.

Оползням подвержены берега рек, озер и морей как в платформенных областях, так и горно-складчатых. Масштаб развития оползней и эколого-геологические последствия их воздействия на окружающую среду определяются объемом и скоростью перемещения масс грунта. Крупнейшие оползни с катастрофическими последствиями возникают в тех случаях, когда мощная толща плотных скрепленных пород залегает на слабо литифицированных толщах или пльвунах, в которых при насыщении водой возникают явления ползучести, выдавливания и выплывания.

На морских побережьях оползневые процессы активизируются во время штормов, сопровождаемых ливневыми дождями. Многие грандиозные оползни с трагическими последствиями спровоцированы землетрясениями. Активизации оползневых процессов способствует обильное увлажнение пород в результате затяжных дождей, ливней и снеготаяния. В 1994 г. на юге Киргизии после обильных дождей и снегопадов в лёссовых породах сошли оползни-потоки объемом от 500—600 м³ до 1,5 млн м³. Погибли 115 человек. В 1974 г. во время крупного оползня объемом 1,6 км³ в Перу в Андах погибли 450 человек.

Оползни наносят значительный материальный ущерб. Они разрушают промышленные здания, жилые дома, транспортные артерии, коммуникации, погребают целые деревни, нарушают структуру сельскохозяйственных земель. Угроза образования оползней, представляющих опасность для инженерных сооружений и дорог, вызывает рост косвенных материальных издержек и требует создания дополнительных защитных сооружений. Ежегодный материальный ущерб от оползней в мире составляет несколько миллиардов долларов.

Помимо обвалов, камнепадов и оползней существуют медленные гравитационные перемещения дезинтегрированных отложений, называемых *крипом*. Выделяют глубинный крип, когда происходит перемещение материала в глубь Земли, и склоновый крип — перемещение материала вниз по склону. Крип вызывается уплотнением рыхлых пород (лёсса и глины) на глубине и образованием на глубине разуплотненного вещества вследствие таяния и замерзания воды (криогенный крип), откачкой подземных вод, нефти или газа (антропогенный крип). В результате действия крипа на поверхности образуются плоские блюдцеобразные котловины, оголяются склоны и у подножия возникают холмистые нагромождения смещенного со склонов коллювия.

Карстовые формы. Поверхностные карстовые формы образуются в том случае, когда растворимые горные породы — известняки, доломиты, мергели, мел, гипс, каменная соль — залегают неглубоко и перекрыты маломощным чехлом рыхлых чет-

ертичных отложений или даже выходят на поверхность. К ним относятся карровые поля, карстовые воронки и поноры, карстовые котловины, карстовые поля, колодцы, шахты и пропасти.

Карровыми полями называют обширные площади карбонатных пород, покрытые каррами, — неглубокими (до 2 м) рытвинами и углублениями.

Карстовые воронки конической, чаше- и блюдцеобразной формы — образования глубиной 20—30 м, имеющие в поперечнике первые сотни метров. На дне воронок располагаются вертикальные, наклонные и реже горизонтальные ходы в виде щелей или колодцев — *поноры*. Иногда поноры возникают непосредственно на поверхности в результате расширения стенок открытых трещин. Через поноры поверхностные воды проникают в глубь пород.

Карстовые котловины — замкнутые понижения, возникающие в результате слияния соседних карстовых воронок. Наиболее крупные носят название карстовых полей. Они имеют площадь в сотни квадратных километров, достигая глубины нескольких сотен метров. Чаще всего поля возникают в горных областях. Самое крупное Ливанское поле, расположенное на Балканском полуострове, имеет площадь 379 км².

Карстовые колодцы, шахты, пропасти формируются в результате максимального расширения и углубления понора. Когда колодцы и шахты достигают нескольких сотен метров в глубину, они приобретают вид грандиозных пропастей.

Поверхностные карстовые формы видоизменяют ландшафт и делают территории непригодными для дорожного строительства и механизации сельскохозяйственных работ. При этом изменяется гидрологический режим и местность приобретает пустынный вид. Поверхностные воды периодически исчезают. С подобными формами рельефа связаны исчезающие озера, на дне которых располагаются карстовые воронки и поноры, которые оказываются закупоренными озерными тонкими осадками. Исчезновение пробок, например из-за всасывания озерных осадков внутрь карстовых форм, приводит к понижению уровня воды в озерах.

Подземные карстовые формы создаются подземными водами, протекающими в карбонатных и гипсоносных толщах. Они представлены карстовыми пещерами и подземными галереями. Пещеры состоят из системы горизонтальных, наклонных, вертикальных и ветвящихся каналов, штреков, галерей, щелей, ведущих в крупные залы.

Суффозионные формы рельефа образуются в рыхлых песчано-глинистых и лёссовых толщах, из которых твердые частицы выносятся подземными водами. Вследствие этого внутри толщ возникают пустоты, а на поверхности — провальные формы, напоминающие карстовые. На выходах подземных вод на скло-

нах речных долин образуются небольшие полукруглые выемки суффозионные цирки.

Формирование подземных пустот как вследствие действия карстовых, так и суффозионных процессов приводит к катастрофическим последствиям на земной поверхности. Главными из них являются: просадки и провалы жилых и промышленных зданий и хозяйственных построек, расположенных над подземными полостями; деформации железнодорожного полотна и шоссейных дорог, требующие крупных капитальных вложений для ремонта и ухода; утечка воды из искусственных водохранилищ; обильные притоки подземных вод в горные выработки — шахты, карьеры; нарушение устойчивости мостов.

Криогенные процессы. Мерзлотно-геологические (криогенные) процессы широко распространены в районах развития многолетнемерзлых грунтов. Вода, превращенная в лед, занимает пустоты, поры и трещины, цементируя рыхлые породы.

Верхняя часть мерзлых пород в весенне-летний период периодически оттаивает на глубину до 1,5—2 м. Этот слой, называемый *деятельным слоем*, летом полностью насыщен водой. Вода удерживается водоупорным слоем, роль которого играют залегающие на глубине многолетнемерзлые породы. Под ними циркулируют *подмерзлотные* напорные воды, находящиеся вне сферы влияния климатических условий, господствовавших на поверхности. В толще многолетнемерзлых пород в виде линз нередко залегают *межмерзлотные* и *внутримерзлотные* воды. Их образование связано с неравномерным распределением температур в многолетнемерзлых породах. Участки талого грунта, к которым они приурочены, носят название *таликов*.

Межмерзлотные и иногда надмерзлотные воды нередко обладают напорными свойствами. Напор обычно возникает осенью и зимой во время промерзания деятельного слоя и таликов. В это время объем участков, насыщенных водой, постепенно сокращается из-за замерзающих грунтов.

Наиболее неблагоприятными в экологическом отношении являются следующие криогенные процессы: термокарст, бугры пучения, наледи и солифлюкция.

Термокарст — процесс образования подземных пустот и поверхностных форм рельефа, напоминающий карстовый, но образованный вследствие таяния подземных льдов и рыхлых пород, сцементированных льдом. На поверхности земли образуются просадки. Термокарстовые понижения в виде «блюдца» протаивания, западин или котловин часто имеют округлую форму и глубину от 8—10 до 30 м.

В летнее время термокарстовое понижение заполняется талой водой. Возникают термокарстовые озера. Вода термокарстового озера способствует дальнейшему развитию процесса оттаивания промерз-

шего грунта на дне и приводит к увеличению глубины и размеров озера. При существовании поверхностного стока вода, образованная при вытаивании льда, уносится и возникает сухое термокарстовое понижение.

Бугры пучения образуются при сезонном промерзании влажных или насыщенных водой пород таликов. Увеличение объема при образовании льда приводит к расширению пространства и поднятию поверхностного слоя. Многолетние промерзания и оттаивания формируют крупные бугры пучения, возвышающиеся над окружающей местностью. Высота их может достигать 100 м, а диаметр — 200 м.

Наледи образуются в зимнее время в результате многократного воздействия на поверхность речных или надмерзлотных и межмерзлотных подземных вод и их последующего послойного промерзания. Широко распространены речные наледи. Они способствуют промерзанию реки до дна, сужению русла реки и представляют угрозу для речной биоты. Последовательное сужение приводит к усилению напора речного течения, вследствие чего вода прорывается на поверхность и растекается по долине. Продолжающееся замерзание сопровождается наращиванием толщины льда и образованием новых наледей.

Наледи возникают и в местах прорыва надмерзлотных вод. При замерзании деятельного слоя незамерзшая вода, заключенная между многолетней мерзлотой и промерзшей верхней частью слоя, приобретает напор и прорывается на поверхность, образуя наземную наледь.

Толщина наледей может иногда достигать 10 м, а площадь, занимаемая ими, — нескольких десятков квадратных километров.

Солифлюкция — процесс медленного оплывания и вязкого течения на склонах деятельного слоя со скоростью нескольких десятков сантиметров в год. Развитию солифлюкции способствует наличие тонких рыхлых насыщенных водой пород алевроито-суглинистого состава и уклонов поверхности рельефа от 3 до 15°. Во время движения формируются солифлюкционные языки различной длины и ширины и солифлюкционные террасы.

На горных склонах, на склонах и в руслах ложбин и сухих долин, обладающих значительной крутизной, перемещается глыбовый слабо окатанный материал. Такие каменные потоки называются *курумниками*. Длина курумников может достигать нескольких километров.

Образованию курумников способствует морозное выветривание скальных пород, которое подготавливает материал для перемещения, вымывания щебнисто-дресвяного материала и замерзания воды в образовавшихся пустотах в виде гольцового льда. При подтаивании гольцового льда происходит переувлажнение подстилающих глыбы слоев горных пород. Это нарушает устойчивость, и глыбовый материал начинает медленно перемещаться.

Многолетняя практика проведения хозяйственных работ в районах с многолетнемерзлыми грунтами нарушает режим мерзлоты и приводит к оттаиванию. Возникают разжиженные грунты. В конце концов это вызывает деформацию, разрушение зданий и дорожного полотна.

8.5.2. Эндогенные процессы

Основными эндогенными процессами, которые влияют на хозяйственную деятельность человека и изменяют характер экосистем, являются вулканизм, землетрясения и тектонические движения. В то время как первые два проявления эндогенных процессов по своему характеру являются быстротекущими и поэтому катастрофическими, тектонические движения длятся довольно долгое время, протекают с небольшой скоростью и к их негативному воздействию можно заранее подготовиться.

Областями современной вулканической деятельности и сейсмической активности являются наиболее густонаселенные регионы Земли — Средиземноморский регион, Японский, Индонезийский, Филиппинский архипелаги, Индокитайский полуостров, Центральная Америка, Тихоокеанское побережье Северной и Южной Америки.

Вулканизм. Вулканическая деятельность представляет собой совокупность процессов, связанных с извержениями на земную поверхность, в гидросферу и атмосферу разнообразных твердых, жидких и газообразных продуктов магматической деятельности, происходящей в земных недрах. Вулканические процессы сопровождаются образованием характерных вулканических тел и форм рельефа, сложенных вулканическими горными породами, и экологическим воздействием на окружающую среду. С деятельностью вулканов в истории Земли связано вымирание многих видов животных и растений. Исследователи нередко связывают с вулканической деятельностью не только образование рельефа и комплекса горных пород, но и возникновение оледенений на основании того, что цикличность эпох оледенений и межледниковий совпадает с определенными вулканическими циклами. Имеются исследования, доказывающие, что вулканическая активность послужила одной из причин перехода человекообразной обезьяны к человеку.

Извержение вулканов порождает стихийные бедствия, грозящие гибелью всему живому. Пеплом засыпаются города и поселки, преобразуются рельеф и гидрографическая сеть, меняются почвенный покров и растительность.

За исторический период зафиксирована деятельность около 1500 вулканов. Более 90 % вулканов сосредоточено в Средиземноморском (Альпийско-Гималайском), Тихоокеанском и Атлантическом вулканических поясах. Остальные 10 % приходятся на отдельные

вулканы Африки, островов Индийского океана и подводные вулканы Тихого океана.

К факторам вулканической деятельности, обладающим разрушительным действием и сильным экологическим воздействием на окружающую среду, относятся взрывная волна, лавовые потоки, аэрозоли и вулканические аэрозоли, пирокластические потоки, пепельные и пепловые тучи и лахары. Степень их воздействия на окружающую среду зависит от форм извержения, объема выброшенных продуктов извержения, скорости и продолжительности самого извержения.

Современные вулканы подразделяют на три крупные группы: лавовые, или эффузивные, газово-взрывные (эксплозивные) и вулканы смешанного типа.

Лавовые вулканы располагаются на океанских островах и активных континентальных окраинах. Они приурочены к зонам глубинных разломов. Основными продуктами извержений являются жидкие и подвижные базальтовые лавы, в меньшей степени — рыхлая аэрозоли и газы. Излияния происходят либо из трещин, либо из расположенных на конусовидных горах изолированных жерловин, либо через широкий трубообразный канал. В последнем случае возникают щитовые вулканы, в кратерах которых располагаются кипящие лавовые озера. Температура лавы на поверхности достигает до 1300 °С. Скорость перемещения лавовых потоков на склонах вулканов достигает 25 км/ч.

Вулканы такого типа известны в Исландии, Японии, Новой Зеландии, Восточной Африке, на Гавайях, Камчатке, островах Самоа.

Газово-взрывные вулканы извергают в огромных объемах газ, пар и вулканический пепел. Излияния лавы почти не происходит. Пластичная лава выжимается в небольших объемах из кратера и быстро застывает. Нередко лава закупоривает жерло вулкана. Накопившаяся под пробкой газовая смесь взрывается, и над вулканом появляется туча раскаленных газово-пепловых облаков. Энергия взрыва очень велика, и часть вулканической постройки сносится.

Вулканы этой группы наиболее распространены и их извержения приводят к наибольшему числу жертв. При извержении вулкана Тамбора в 1815 г. на острове Сумбава в Индонезии погибло более 90 тыс. человек. Во время извержения вулкана Мон-Пеле в 1902 г. на острове Мартиника из-за огненного облака погибли 30 тыс. жителей г. Сан-Пьер.

Вулканы смешанного типа характеризуются чередованием во времени извержений вязких лав, пепла и газообразных продуктов. Вулканы этого типа распространены в Средиземноморье, Южной Америке, Японии, на Курилах и Камчатке. Извержения подобных вулканов часто становились причинами локальных экологических катастроф. Наиболее известным и описанным в классической ли-

тературе является извержение вулкана Везувий в 79 г. до н.э. Но семиметровым слоем вулканического пепла были погребены города Геркулум, Помпеи, Стабуя.

В настоящее время разработана схема потенциальной опасности вокруг вулканов. Выделяют три области с разными факторами воздействия.

Первая (пепловая) область располагается в радиусе до 20 км от жерла вулкана. Во время извержения в результате термического, механического и химического воздействий полностью уничтожаются и захороняются многие компоненты природной среды, хозяйственные постройки и коммуникации. Взрывная волна полностью уничтожает лес и все живое. Лавовые или пирокластические потоки, температура которых может достигать 500 °С, вызывают пожары, гибель людей и животных, уничтожают растительность. Пирокластические потоки засыпают речные долины, сглаживают рельеф и образуют новые формы.

Вторая область охватывает подножие вулкана и нижние части склона в радиусе до 30 км. Она характеризуется частичной гибелью людей и биоты под действием таких факторов, как тефра, палящие тучи и сильные пеплопады. Под тяжестью тефры и ее термического и химического воздействия полностью уничтожается растительность. Животные гибнут от бескормицы, отравления кормом, отсутствия воды и из-за ожогов. В 1994 г. г. Рабул и расположенная рядом бухта на острове в Новой Гвинее в результате извержения вулкана Матури были погребены под слоем пепла. Ранее, в 1937 г., в этом городе погибло около 500 человек.

В третьей области на окружающую среду влияет пепел. Радиус этой области достигает нескольких тысяч километров. Здесь преобладает химическое воздействие, а механическое только дополняет его. Пепел ухудшает условия жизнедеятельности человека. При попадании в водоемы и почву пепел меняет их химический состав, что, в свою очередь, вызывает качественные и количественные изменения в видовом составе животных и растений. Во время извержения вулкана Большой Толбачик в 1975 г. пепловая туча охватила площадь 1000 км². На Камчатке пеплом была засыпана растительность и оленьи пастбища. Воды рек и озер стали кислыми и непригодными для питья. Животные погибли от бескормицы и жажды.

Огромный ущерб приносят побочные процессы, не связанные напрямую с вулканической деятельностью, — обвалы, лавины и лахары. Горячий пирокластический материал, осаждающийся на ледниках и снежниках, из-за высокой температуры вызывает их бурное таяние. Образуются горячие и холодные лахары. Эти грязевые потоки, перемещаясь со скоростью 20—50 км/ч, увлекают за собой огромные глыбы застывшей лавы и уничтожают все живое на своем пути. За извержением вулкана Руис в Колумбии в 1985 г. возник лахар, который унес жизнь 24 тыс. человек.

Гибель людей и последующие заболевания связаны не только с вулканическими воздействиями лахаров, палящих туч, тефры, пепла, но и с химическими ожогами легких и повреждениями слизистой оболочки. Только за последние 500 лет из-за извержений вулканов в общей сложности погибли 200 тыс. человек.

Вместе с тем вулканические извержения играют и положительную роль. С одной стороны, покрытые пеплом склоны вулканических гор являются весьма плодородными, так как содержат в больших количествах необходимые для растений калий, фосфор и другие биогенные микроэлементы, с другой — вулканические области являются практически неисчерпаемым источником экологически чистой геотермальной энергии. Геотермальные станции создаются в местах выхода на поверхность гидротерм, связанных с fumarольной стадией извержения. Геотермальные воды обогревают жилые и производственные помещения и теплицы и одновременно обладают бальнеологическими свойствами.

Вулканическая деятельность влияет на климат. Вулканы выбрасывают в атмосферу значительное количество парниковых газов, среди которых углекислый газ, пары оксидов и диоксидов серы. Выбрасываемая вулканами газообразная смесь приводит к разрушению озонового слоя и способствует возникновению озоновых дыр.

Землетрясения. Являются наиболее опасным проявлением геотектонических процессов. Это внезапное освобождение потенциальной энергии земных недр в виде продольных и поперечных волн. В исторический период, т.е. за последние 4 тыс. лет, от землетрясений, по неполным данным, погибли около 13 млн человек. Только во время одного землетрясения в Китае в 1976 г., по разным данным, погибли от 240 тыс. до 650 тыс. человек и более 700 тыс. человек получили ранения.

По генезису природные землетрясения подразделяются на тектонические, вулканические и экзогенные. Самыми разрушительными являются тектонические, вызываемые быстрым смещением глыб тектонических нарушений.

Сила землетрясения зависит от количества выделившейся в области очага энергии, характеризующейся магнитудой (условной энергетической характеристикой) и глубиной залегания очага. Интенсивность — качественный показатель последствий, включающий размер ущерба, количество жертв и степень восприятия людьми последствий землетрясения.

Для определения интенсивности колебания поверхности в эпицентре используется 12-балльная шкала силы землетрясений, основанная на степени разрушения построек. Более широко применяется шкала магнитуд, которая неверно называется баллами. Она была предложена Ч. Рихтером и соответствует относительному количеству энергии, выделившейся в очаге землетрясения. Наиболее

сильные землетрясения характеризуются магнитудой (M) от 6 до 8,9. Магнитуда 6 соответствует землетрясению силой 8 баллов, $M = 7-9-10$ -балльному землетрясению, а $M > 8-11-12$ -балльным землетрясениям.

Надо отметить, что оценка землетрясений в магнитудах более объективна, чем в баллах, так как степень разрушения построек зависит не только от количества выделившейся энергии, но и от других факторов, в частности от качества построек и применения антисейсмической технологии строительства, глубины очага, водонасыщенности горных пород и т. д.

Землетрясения выражаются многими толчками, направленными вверх от очага, из которых только один или несколько являются главными и наиболее разрушительными. Главному толчку предшествуют *форшоки*, а после следуют повторные толчки — *афтершоки*.

До 80 % землетрясений происходят в земной коре, и у многих из них очаги располагаются на глубине 8—20 км. Максимальная глубина очага землетрясения находится примерно на границе нижней и верхней мантии (620—720 км).

Большая часть крупных землетрясений приурочена к Альпийско-Гималайской области и Тихоокеанскому огненному кольцу (рис. 8.5). В состав первой входят горно-складчатые сооружения Северной Африки, Апеннины, Альпы, Карпаты, Крым, Кавказ, горные сооружения Балканского полуострова, Малой и Средней Азии, Ирана, Афганистана, Памира, Гималаев и Бирмы. Тихоокеанское огненное кольцо включает Алеутские острова, Камчатку, Сахалин, Курильскую гряду, Японские острова, горные сооружения Юго-Восточной Азии, Центральной Америки, Анды и Кордильеры. В перечисленных районах происходят самые сильные землетрясения, как правило, превышающие 9—10 баллов. В сейсмоопасных областях проживает более половины населения Японии, одна треть населения Китая, одна седьмая часть населения США и одна сотая часть населения России.

Землетрясения — это комплексное бедствие с прямым и косвенным вторичным ущербом, возникающим в результате схода лавин и оползней, селей, возникновения цунами и пожаров. Причем в материальном исчислении ущерб из-за сопутствующих стихийных бедствий нередко превышает первичный ущерб.

Величина ущерба, наносимого землетрясениями, зависит от силы сейсмических волн, достигающих земной поверхности, частоты, продолжительности сейсмических колебаний, от конструктивных особенностей зданий и состояния грунта основания. Общий ущерб от разрушения зданий во время землетрясения в Каракасе в 1967 г. превысил 100 млн долларов и при этом погибли 205 человек. Во время Ашхабадского землетрясения в 1948 г. город был практически полностью разрушен, а число жертв возможно пре-

высило 125 тыс. человек. Одним из самых тяжелых по своим социально-экономическим последствиям было Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. Число погибших превысило 25 тыс. человек, убытки составили около 8 млрд долларов.

Сильные землетрясения приводят к серьезным изменениям природной среды. Меняются рельеф земной поверхности, конфигурация водораздельных пространств и горных хребтов, возникают новые прибрежные и подводные равнины, грабены и горсты, рвы и трещины, по которым перемещаются блоки земной коры, образуя сбросы и взбросы.

Во время одного из самых сильных в истории человечества Гоби-Алтайского 12-балльного землетрясения в 1957 г. хребет Гурван-Гохан высотой до 4000 м и протяженностью 257 км был приподнят и сдвинут к востоку. Образовались многочисленные разрывные нарушения, в частности, грабены шириной 800 м и длиной до 1,5 км, длинные тектонические рвы с зияниями до 19 м, а водораздельный участок г. Битут протяженностью 3 км и длиной 1,1 км опустился на 328 м. На северном склоне хребта Хамар-Дабан были сорваны и сброшены в долину островерхие пикообразные вершины гор. Они слились вместе в виде усеченных конусов, образовав плосковерхий водораздел.

Последствия землетрясений бывают особенно катастрофичны, когда они провоцируют экзогенные гравитационные процессы — обвалы, камнепады, оползни и сели.

Землетрясения в силу своего мгновенного действия вызывают сильные разрушения и приводят к большим жертвам. Продолжительность главного толчка, характеризующегося наибольшей маг-

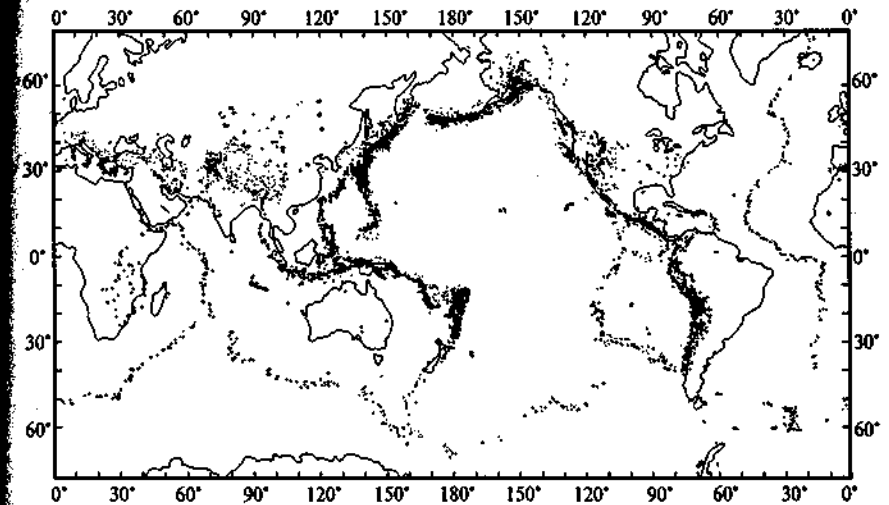


Рис. 8.5. Очаги сильных землетрясений

Количество землетрясений разной магнитуды, происходивших на Земле в течение года

Землетрясения	Магнитуда, М	Среднее число за год
Катастрофические планетарного масштаба	Более 8	1—2
Сильные регионального масштаба	7—8	15—20
Сильные локального масштаба	6—7	100—150
Локальные средней силы	5—6	750—1000
Слабые местные, не вызывающие больших повреждений	4—5	5000—7000

нитудой, редко превышает одну минуту. Это бедствие застает людей врасплох. Повторные подземные толчки — афтершоки — проявляются длительное время, и население успевает к ним подготовиться.

Общее годовое количество разных по силе землетрясений (по Н. А. Щетникову, 1993) приведено в табл. 8.2.

Несмотря на проводимые в больших масштабах исследовательские работы по прогнозированию землетрясений, до сих пор не предложено реальной методики прогноза. В принципе предугадать возникновение землетрясения реально, так как после соответствующих исследований составляют специальные сейсмогеологические карты, но сказать точно, в каком конкретном месте и когда может произойти землетрясение, крайне сложно и на сегодняшний день практически невозможно.

Исходя из невозможности на современном уровне развития науки и технической ее оснащенности предсказать и предотвратить разрушительные землетрясения, большое значение приобретает обучение населения поведению в сейсмоопасных регионах и сейсмостойкое строительство в этих районах. В комплекс антисейсмических мер входит создание железобетонных сейсмических поясов, уменьшение веса кровли и межэтажных перекрытий, отказ от выступающих тяжеловесных деталей — карнизов, балконов, лоджий.

8.6. Особенности геофизических и геохимических аномалий

Геофизические и геохимические аномалии, оказывающие влияние на живые организмы, разделяются на две большие группы: естественные аномалии, обусловленные геологическими факторами, и техногенные, созданные в результате деятельности человека.

Естественные аномалии. Имеющиеся в земных оболочках геофизические и геохимические аномалии обусловлены наличием вертикальных и горизонтальных неоднородностей в литосфере и проницаемых зон, которые в сумме вносят заметные искажения в распределение энергетических полей и вещественно-геохимических комплексов. Аномалии являются отражением разнообразных эндогенных и экзогенных геодинамических и физико-химических процессов, которые протекают в геологической среде. Одни из них обусловлены рудными залежами и скоплениями неметаллических полезных ископаемых, другие — геологическими структурами, а третьи — распространением гравитации, электрических, магнитных и тепловых потоков.

Источниками таких аномалий могут быть геологические объекты, длительное время генерирующие потоки вещества, а также геологические процессы, протекающие в глубоких недрах, Солнца и космические тела. К числу геологических объектов относится целый ряд месторождений рудных полезных ископаемых. Например, в зоне окисления сульфидных месторождений практически всегда возникает сложная система электрических и температурных полей, над рудными залежами локализуются аномально высокие значения Cu, Zn, Pb, Sc, Cd, In, SO₂, CO₂. На земную поверхность благодаря глубинным разломам поступают эманации гелия, водорода, радиоактивных газов и особенно радона. Все они создают локальные геохимические аномалии.

Их воздействие на живые организмы может быть различным в зависимости от уровня токсичности химических элементов и их соединений, а также от количества поступающего вещества. Высокотоксичными являются оксидные месторождения урана, сернистые руды Bi, Te, Se, As, Sb, Hg, Cu, менее опасными — разнообразные по генезису месторождения Pb, Zn и галогенных соединений, опасными — месторождения слюды, талька, берилла и некоторых драгоценных камней.

Аномалии создают физические и геохимические поля, которые возникают перед надвигающимися грозными геологическими стихиями, в первую очередь — землетрясениями.

Активные явления на Солнце вызывают магнитные бури, перераспределение теллурических токов в геологической среде и т. д. Кроме того, на Землю непрерывно поступают космические лучи и падают разной величины космические тела. Падение мелких каменных, железных и железокосменных метеоритов часто происходит незамеченным и не оказывает заметного влияния на биосферу. Крупные метеориты оказывают локальное воздействие на место падения. Более крупные катаклизмы возникают в результате падения на Землю астероидов и комет. Их периодичность достаточно вели-

ка, падения сопровождались массовыми вымираниями биоты в геологическом прошлом. Наиболее известным является падение астероида диаметром около 10 км на границе мелового и палеогенового периодов, т. е. 65 млн лет тому назад. Результатом встречи Земли с таким космическим телом стало массовое вымирание организмов, когда наземная и морская биоты лишились почти 75 % своих представителей.

Техногенные аномалии чрезвычайно разнообразны по форме и строению и нередко обладают комплексной природой. Все они являются результатом излучения радиоактивных веществ, используемых в промышленных и исследовательских целях, и рассеивания различных видов энергии и вещества.

Главные источники искусственных аномалий — городские агломерации, сельскохозяйственные комплексы, промышленные и горнодобывающие предприятия, электростанции, работающие на твердом, жидком, газообразном и ядерном топливе, транспортные магистрали, линии электропередач, кабели телеграфной и телефонной связи, радиорелейные линии, телекоммуникационные системы, аэродромы и обслуживающие их радарные комплексы, площадки для запуска ракет, нефтебазы и нефтепередающие и нефте- и газоперекачивающие станции, хранилища и пункты захоронения химических и радиоактивных отходов, отвалы горных предприятий, особенно золотоотвалы и хвостохранилища, полигоны для испытания различных видов вооружения, в том числе и ядерного.

Необходимо особо подчеркнуть, что масштабы техногенных аномалий порой многократно превышают естественные аномалии и поэтому оказываются особо опасными для жизнедеятельности человека.

Наиболее ярким примером искусственно созданной аномалии является авария на Чернобыльской АЭС, в результате которой суммарная площадь интенсивного спектра выбросов радионуклидов и интенсивность радиоактивного излучения многократно превысила любые природные геологические объекты.

Максимальные концентрации и суммарные запасы некоторых тяжелых и редких металлов и особенно цианидов в отвалах и хвостохранилищах, накапливающихся после переработки и обогащения золоторудного концентрата, настолько велики, что становятся опасными для окружающей среды.

Высокую напряженность, иногда опасную для жизни, создают электромагнитные поля мощных радиопередающих устройств, линии высоковольтных передач. Напряженность электрических полей многократно превышает мощность, создаваемую при проведении электроразведочных работ на рудных полях.

В целом геофизические и геохимические аномалии обладают некоторыми специфическими особенностями: 1) их источники

обычно располагаются на дневной поверхности или в верхней части литосферы; 2) они имеют крайне ограниченную вертикальную протяженность при большой площади распространения; 3) в отличие от природных аномалий, связанных с рудными залежами и геологическими структурами, создающими физические поля и первичные ореолы рассеивания, грубоконцентричные по отношению к аномалиеобразующим структурам, техногенные аномалии распространяются вдоль путей перемещения воздушных масс, подземного и поверхностного стока, вдоль автомобильных дорог и железнодорожных магистралей и т. д.; 4) для аномалий характерно не только пространственное совпадение и наложение нескольких физических полей, но и совмещение совершенно разнородных параметров.

Вышеизложенное проиллюстрируем следующими примерами. Как правило, вдоль автодорог, включая кюветы и полосу отчуждения, в результате осаждения выхлопных газов возникают комплексные ореолы Pb, Hg, Zn, бензпирена, азотистых, сернистых и ряда других токсичных соединений. Вдоль линии электропередач, подземных и воздушных линий радио- и телеграфной связи возникают первичные и вторичные электромагнитные поля. Электрические потенциалы концентрируются за счет фильтрации атмосферных вод через основание полотна дороги. Сама транспортная магистраль (автомобильная и железная дороги) и прилегающие к ней территории испытывают сейсмические и акустические колебания при движении транспортных средств.

По масштабам выбросов и охваченной площади выделяют точечные, локальные и региональные аномалии. К первым относятся аномалии, возникающие за счет скопления радиоактивных микродоз в определенных частях жилых и промышленных зданий. Локальные аномалии формируются в результате скопления токсичных веществ на полигонах бытовых и промышленных отходов, отвалах карьеров и на терриконах, а также в хвостохранилищах. Региональные аномалии образуются в результате выбросов в атмосферу крупных ТЭЦ или АЭС или работы горно-обогатительных комбинатов.

8.6.2. Особенности воздействия аномалий на живые организмы

Радиационные аномалии способствуют дополнительному облучению живых организмов. Высокие дозы облучения повреждают ткани, разрушают клетки, вызывают лучевую болезнь и приводят к смерти организма. Малые дозы облучения повышают риск онкологических заболеваний и серьезных генетических отклонений.

Степень радиационного воздействия на живой организм зависит от получаемой им дозы облучения. Она учитывает способность

Средняя удельная радиоактивность строительных материалов, применяющихся в разных странах

Материал	Страна	Концентрация радона, Бк/кг
Дерево	Финляндия	1
Природный гипс	Великобритания	29
Песок, гравий	Германия	34 и более
Портландцемент	Германия	45 и более
Кирпич	Германия	126
Гранит	Великобритания	170
Пыльная пыль	Германия	341
Асбест	Швеция (1974—1979)	496
Асбест	Швеция (1929—1975)	1367
Фосфогипс	Германия	574
Шликокальцевый шлак	США	2140
Отходы урановых обогатительных фабрик	США	4625

различных форм радиоактивного облучения (альфа-, бета- и гамма-излучения) повреждать живые ткани организмов и оценивается либо в греях, т.е. поглощенной дозой, либо в зивертах, т.е. эффективной эквивалентной дозой, учитывающей способность излучения определенного типа повреждать ткани организмов, а также различную чувствительность к облучению разных частей тела.

Большие дозы облучения разрушают клетки, повреждают ткани органов и могут быть причиной быстро прогрессирующей лучевой болезни. Так, при дозе облучения 100 Гр летальный исход наступает через несколько часов или дней, при дозе 10—50 Гр облученный умирает через 2—3 недели вследствие поражения клеток костного мозга. Малые дозы радиоактивного облучения приводят к развитию раковых заболеваний, проявляющихся чаще всего через одно-два десятилетия, и серьезным генетическим отклонениям, сказывающимся на потомках облученного индивидуума (Г.С. Вахромеев, 1995).

Естественными источниками радиации являются космические лучи и радиоизотопы минералов, находящихся в горных породах (^{40}K , ^{85}Rb , ^{232}Th , ^{238}U), а также ряд радиоактивных нестабильных изотопов, которые возникают в результате радиоактивного распада. С увеличением высоты эффективная эквивалентная доза радиации, поступающая с космическими лучами, многократно возрастает. В частности, в горах на высоте 5 тыс. м над уровнем моря она увеличивается в десятки раз по сравнению с уровнем Мирового океана, а на высоте 10 тыс. м, т.е. на уровне полета трансконтинентальных авиалайнеров, уровень облучения вырастает почти в 170 раз.

Определенную долю в повышение уровня радиации приносят такие полезные ископаемые, как каменный уголь и фосфориты. При сжигании угля и использовании минеральных фосфорных удобрений радиоактивные соединения и элементы остаются в золе, шлаке, выносятся с дымом, проникают в почвенные горизонты и нередко с продуктами питания и в процессе дыхания попадают в органы пищеварения и дыхания человека.

Наибольший вред из всех естественных источников радиации приносит радон. И несмотря на то что радоновые воды обладают целебными свойствами (курорт Цхалтубо в Грузии пользовался мировой славой), на радон падает около 75 % годовой радиоактивной дозы, которую население получает от естественных источников. Радон накапливается внутри зданий в процессе горения природного газа, выделяется из воды во время пользования душем и ванной, диффундирует из строительных блоков в промышленных и жилых зданиях.

Общее представление о концентрации радона в строительных материалах, используемых в разных странах, дают сведения, помещенные в табл. 8.3.

Несмотря на то что на долю искусственных источников радиации приходится всего около 20 % всего среднегодового количества радиации, выделяемой на земной поверхности, они представляют большую опасность, так как сосредоточены главным образом в пределах крупных промышленных центров, а сами источники радиации непосредственно воздействуют на людей. Но техногенные источники разнообразны. Это не только ядерное оружие и ядерное топливо атомных электростанций, но и средства медицинской диагностики и лечения, разнообразная аппаратура, используемая для контроля за состоянием среды и технологических процессов, а также при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых.

Магнитные и электрические поля Земли имеют различное происхождение и обладают разной степенью воздействия на живую природу. Магнитные поля относятся к сильным и специфическим раздражителям, действующим непосредственно на нервные клетки мозга.

Сильные электрические поля особенно неблагоприятно влияют на центральную нервную систему. По мнению Г.С. Вахромеева (1995), акселерация молодежи обусловлена повышенным электромагнитным фоном планеты.

В последние десятилетия резко возросла отрицательная роль электромагнитных полей, возникающих в результате антропоген-

ного фактора. Это связано с появлением многочисленных радио- и телевизионных станций (вещательных и передающих комплексов), проведением линий высоковольтных электропередач и трансформаторных станций, интенсивным движением транспорта, работающего на электрических двигателях, работой промышленных предприятий и т. д.

Степень влияния электрических полей на человеческий организм до настоящего времени полностью не выяснена. Вместе с тем появилось довольно много веских доказательств, свидетельствующих о том, что любой живой организм реагирует на электромагнитные поля даже в условиях работы в нормальном режиме генераторов электромагнитных излучений. Люди, работающие с источниками электромагнитных полей и электрическими излучателями, часто жалуются на снижение аппетита, ослабление памяти, головные боли, быструю утомляемость.

Вибрационные поля создаются как природными, так и техногенными факторами. К первым относятся упругие сейсмические колебания, действие прибоев, ветра и т. д. Наибольшую роль в появлении техногенной вибрации играют транспортные магистрали и транспортные средства (автомобили, поезда, самолеты, морские суда).

Вибрационные поля отрицательно отражаются на физиологическом состоянии человека. Они приводят к повышенной утомляемости, тормозят двигательные реакции, нарушают координацию движений. Длительное воздействие вибрации вызывает нарушение работы сердечно-сосудистой системы, опорно-двигательного аппарата, нервные расстройства, поражение мышечных тканей и суставов (Г. С. Вахромеев, 1995).

Во время землетрясений в процессе передачи сейсмических напряжений образуются ультра- и инфразвуковые волны (акустические поля), на которые человек реагирует. Ультразвуковые волны вызывают галлюцинации, а инфразвуковые — страх и панику. Такие явления возникают и при постоянном или частом воздействии серии слабых землетрясений силой всего 2—5 баллов.

Наиболее неблагоприятное воздействие на человека оказывает вибрация с частотами 1—30 Гц.

Помимо медицинского и биологического воздействия на живые организмы вибрация влияет на прочность грунтов, меняет их структуру, активизирует оползневые, обвальные, солифлюкционные и другие экзогенные геологические процессы.

Воздействие гравитационного поля Земли на человека в настоящее время не изучено. Предполагается, что переменная составляющая гравитационного поля Земли, связанная с солнечной активностью, возможно оказывает влияние на организм человека, действует на его психику, особенно во время внутриутробного развития и роста организма (Г. С. Вахромеев, 1995).

Геохимические аномалии вызваны концентрацией в определенных местах токсичных веществ, химических элементов и соединений природного или техногенного происхождения. Особенно опасными являются повышенные концентрации тяжелых металлов и некоторых микроэлементов. Как известно, концентрация элемента измеряется содержанием элемента на единицу массы (мкг/г, мг/г, г/г) или на единицу объема (мкг/дм³, мг/дм³, г/м³) вещества в массовых или объемных процентах. Преобладающая часть техногенных геохимических аномалий связана с промышленными центрами, где сконцентрирована основная масса предприятий, некоторые из них являются вредными и особо вредными производствами.

Наиболее негативные воздействия на человека оказывают аномально высокие концентрации бериллия, хрома, мышьяка, кадмия, ртути, таллия, свинца. Повышенные содержания в почвах, водах и воздухе ртути влияют на иммунитет, вызывают расстройство половых функций, приводят к мутациям. Избыток свинца вызывает общую интоксикацию организма, поражает центральную нервную систему, печень, почки, половые органы, разрушает красные кровяные тельца. Аномально высокие концентрации кадмия приводят к атеросклерозу, гипертонии, раку предстательной железы, распаду костных тканей.

Появление незначительных количеств таллия в тканях и органах человека вызывает болезни сердца, суставов, выпадение волос. Более высокие концентрации приводят к нарушению деятельности желудочно-кишечного тракта, галлюцинациям, конвульсиям и параличу легких. Бериллий усиливает перерождение клеток и вызывает рак легких и остеосаркому.

Природные геохимические аномалии нередко вызывают эндемичные (местные) заболевания, возникающие как от избытка определенных химических элементов и соединений, так и от их недостатка. Геохимические аномалии оказывают воздействие на растения и животных. По данным К. И. Лукашева (1987), причиной заболевания хлорезом растений является дефицит железа в почве или отложение железа в клетках растений, а некроз растений вызывается обилием или недостатком серы, марганца, железа, бора, меди, кальция, магния, молибдена, цинка, никеля и др. При недостатке в почве меди происходит полегание овса, а избыток никеля приводит к отсутствию в цветках лепестков, недостаток бора вызывает засыхание соцветий, хрома — карликовость, марганца — задержку роста растений.

Избыток ряда микроэлементов приводит к нарушению жизнедеятельности животных. При получении больших доз селена нарушается координация движения, мутнеют глаза, происходит облысение, а у птиц выпадают перья. Высокие дозы этих элементов приводят к летальному исходу.

Эндемические заболевания вызывают не только металлы и их соединения, но и органические соединения. Например, установлено, что бензол вызывает рак крови, винилхлорид — рак печени, битум — рак кожи. Заболевания щитовидной железы связаны с недостатком в организме йода.

В работе В. Т. Трофимова с соавторами (1997) своевременно ставится вопрос о необходимости тесного контакта между геологами и медиками при исследовании всей цепочки: от причин и мест проявления геохимических аномалий природных сред до животных и человека через продукты питания, питьевую воду и атмосферу. Геологи изучают определенную геохимическую аномалию, выявляют ее происхождение, показывают ареалы и изучают степень подвижности. Одновременно медики исследуют степень влияния конкретных аномалий на человеческий организм и определяют не только причины, но и намечают пути лечения возникающих заболеваний.

Исходя из многообразия патогенных геохимических аномалий в зависимости от их генезиса желательнее разделить их на две большие группы. Одни геохимические аномалии связаны с природными процессами, поэтому могут быть названы геопатогенными. Техногенные геохимические аномалии связаны с техногенезом и в связи с этим могут быть названы технопатогенными.

8.7. Последствия антропогенного воздействия на геологическую среду

Современные технологии и технический уровень позволяют человеку существенным образом изменять геологическую среду. Огромные по масштабам воздействия на природную среду оказываются сопоставимыми с геологическими процессами. Именно объемы производимых работ и те изменения, которые претерпевает геологическая среда в результате хозяйственного освоения, дали основания академику В. И. Вернадскому признать действия человека «огромной геологической силой».

Техногенными, или антропогенными, воздействиями называют различные по своей природе, механизму, длительности и интенсивности влияния, оказываемые деятельностью человека на объекты литосферы в процессе его жизнедеятельности и хозяйственного производства. Антропогенное воздействие на геологическую среду по своей сути является геологическим процессом, так как оно по размерам и масштабам проявления вполне сопоставимо с естественными процессами экзогенной геодинамики. Разница заключается только в скорости течения процесса. Если геологические процессы протекают медленно и растягиваются на сотни тысяч и миллионы лет, то скорость воздействия человека на среду уклады-

ается в годы. Еще одна отличительная черта, характерная для антропогенной деятельности, — стремительное нарастание процессов воздействия.

Точно так же, как и природные экзогенные процессы, антропогенное воздействие на геологическую среду характеризуется комплексностью проявления. В нем выделяют: 1) техногенное разрушение (дезинтеграция) толщ горных пород, слагающих геологическую среду. Это действие в природных условиях осуществляют процессы выветривания, поверхностные и подземные воды и ветер; 2) перемещение дезинтегрированного материала. Это аналог денудации и транспортировки в процессах экзогенной геодинамики; 3) накопление перемещенного материала (дамбы, плотины, транспортные артерии, населенные пункты и промышленные предприятия). Это аналог аккумуляции осадков, их диа- и катагенеза.

В процессе добычи твердых (разнообразные руды), жидких (подземные воды и нефть) и газообразных полезных ископаемых производятся различные по характеру и объему горно-геологические работы. В процессе добычи твердых полезных ископаемых проводят как открытые горные выработки — шурфы и карьеры, так и подземные горные выработки — шахты, штольни и штреки. Геолого-поисковые и геолого-разведочные работы, а также добыча жидких и газообразных полезных ископаемых осуществляются бурением многочисленных поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин, которые внедряются в приповерхностную часть литосферы на разные глубины — от нескольких десятков метров до нескольких километров. При проведении горно-геологических работ толщи горных пород дезинтегрируются и удаляются из земных недр. Такие же действия производятся при сооружении котлованов под жилые здания и промышленные предприятия, во время выемок при сооружении транспортных магистралей, во время сельскохозяйственных работ, в процессе строительства гидро- и тепловых электростанций и других работ. Антропогенная деятельность, называемая инженерно-хозяйственной, немыслима без воздействия на самую верхнюю часть земной коры. В результате разрушается твердое вещество верхнего слоя геологического разреза и нарушается связность его составных частей. При этом дробятся и измельчаются некогда твердые горные породы. При извлечении горных пород и полезных ископаемых на глубине возникают наземные и подземные пустоты.

В. Т. Трофимовым, В. А. Королевым и А. С. Герасимовой (1995) предложена классификация техногенных воздействий на геологическую среду. Позже этими же авторами классификация была дополнена характеристикой прямых экологических последствий воздействия человека на геологическую среду и обратных воздействий на жизнедеятельность человека, природные ландшафты и биогеоценозы. Данная классификация представлена в табл. 8.4.

Классификация техногенных воздействий на геологическую среду и их экологических последствий
(по В.Т.Трофимову и др.)

Класс воздействия	Тип воздействия	Вид воздействия	Равновидность воздействия	Показатель воздействия	Потенциальные источники воздействия	Экологические последствия воздействия
Механическое	Уплотнение	Статическое (гравитационное)	По времени: постоянные временные	Давление Амплитуда Частота Удельная энергия	Здания, сооружения Вибромеханизмы Авотранспорт, катки Метрополитен Взрывы	Деградация или изменение природных биогеннозенозов
		Трамбование Взрывоуплотнение				
	Разуплотнение	Статическая разгрузка	По положению: наземные подземные	То же	Шахты, полости Котлованы, взрывы	То же
		Динамическая разгрузка				
Внутреннее разрушение массива	Бурение Дробление Фрезерование Откалывание Рытье, экскавация Взрывное разрушение Распахивание, культивация	Бурение Дробление Фрезерование Откалывание Рытье, экскавация Взрывное разрушение Распахивание, культивация	По обратимости: обратимые необратимые	Глубина скважины Работа Мощность Удельная энергия	Буровые скважины Горные комбайны Горные выработки Карьеры, разрезы Шахты, штольни Взрывы Агротехническая деятельность	Изменение природных биогеннозенозов

Класс воздействия	Тип воздействия	Вид воздействия	По цели: стихийные целенаправленные	Коэффициент измененности Удельная энергия	Потенциальные источники воздействия	Экологические последствия воздействия
Гидромеханическое	Аккумуляция рельефа	Отсыпка терриконов	По интенсивности: низкой интенсивности «средней» «высокой»	То же	Шахты, рудники ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС Комбинаты Строительство	Деградация природных ландшафтов, биогеннозенозов
		Отвалообразование Создание насыпей				
		Создание дамб				
Гидромеханическое	Планировка рельефа	Строительная и дорожная планировка	По интенсивности: низкой интенсивности «средней» «высокой»	То же	Строительство Объекты рекультивации Объекты мелиорации	То же
		Рекультивация Террасирование склонов				
		Формирование выемок				
Гидромеханическое	Эрозия рельефа	Рытье каналов, котлованов, разрезов	По интенсивности: низкой интенсивности «средней» «высокой»	То же	Карьеры, разрезы Котлованы, каналы Дорожное строительство Шахты, рудники	То же, а также гибель и увечья людей в результате провалов и разрушения зданий
		Подрезка склонов				
		Образование мульд проседания и опускания				
Гидромеханическое	Гидроаккумуляция рельефа	Гидронамыв дамб, плотин	По интенсивности: низкой интенсивности «средней» «высокой»	То же	Строительство, ТЭЦ, хвостохранилища, шламонакопители	Деградация природных биогеннозенозов
		Намыв золотоотвалов				
		Намыв насыпей, массивов				
Гидромеханическое	Гидроэрозия рельефа	Гидроэрозия массивов	По интенсивности: низкой интенсивности «средней» «высокой»	То же	Карьеры, разрезы, драги Водозаборы Подземное выщелачивание	То же
		Просадочно-суффозионное воздействие				

Класс воздействия	Тип воздействия	Вид воздействия	Разновидность воздействия	Показатель воздействия	Потенциальные источники воздействия	Экологические последствия воздействия
Гидродинамическое	Повышение напора	Нагнетание, инъекция		Изменение напора уровня, влажности	Закачки, сбросы	То же из-за подтопления, вторичного засоления, гибели и увядания людей из-за аварий зданий
		Подтопление				
Термическое	Снижение напора	Откачка		То же	Водозаборы	Изменение природных биогенезов
		Дренажирование				
	Нагревание	Кондуктивное (до 100 °С) Конвективное (до 100 °С) Обжиг (более 100 °С) Плавление	Термическое упрочнение Биохимическое	Температура, термический градиент Удельная энергия	Домны, ТЭЦ, АЭС, ТЭС, ГРЭС, горячие цеха Подземная выплавка серы, газификация углей Объекты технической мелиорации Полигоны ТБО	То же
Охлаждение	Кондуктивное Конвективное Замораживание		То же	Холодильники Закачки растворов Объекты технической мелиорации	То же	

Электромagneticное	Стихийное	Наводка электрических полей	Напряженность Плотность	ЛЭП, линии железных дорог, метрополитена, трамваев, троллейбусов	Бредное воздействие на нервную систему и биологе человека
Радиационное	Целенаправленное	Электрообработка Электроосмос Электролиз Электросиликатизация	То же	Объекты технической мелиорации	То же
	Загрязнение	Короткоживущее радионуклидное Долгоживущее радионуклидное	Радиоактивность	Ядерные взрывы Выбросы АЭС Склады радиоактивных веществ, АЭС, заводы по переработке радио-активных веществ	Гибель людей, животных в результате радиоактивного заражения, лучевой болезни, нарушения иммунитета, мутации; изменение биогенезов, их деградация
Очистка		Деактивация: химическая, электрохимическая, биологическая, механическая	То же	Объекты дезактивации, реабилитации	Улучшение экологических условий на очищенных территориях

Класс воздействия	Тип воздействия	Вид воздействия	Разновидность воздействия	Показатель воздействия	Потенциальные источники воздействия	Экологические последствия воздействия
Физико-химическое	Гидратное	Капиллярная конденсация	То же, что среди физических воздействий	Градиент влажности	Асфальтовые покрытия	Деграляция природных биогеоценозов
		Дегидратация (сушка)				
	Кольматирование	Физическое	То же	Объем кольматации	Объекты технической мелиорации	Изменение природных биогеоценозов
		Физико-химическое				
Химическое	Выщелачивание	Прямое	То же	Удельная энергия	Объекты выщелачивания	То же
		Диффузное				
	Ионно-обменное	Солонцевание	То же	Емкость обмена	Мелиорация земель	То же
		Собственно ионно-обменное				
Загрязнение	Загрязнение	Фенольное, хлорфенольное	То же	Концентрация загрязнителя	Химические фабрики	Отравления людей и животных по трофическим цепям, нарушения иммунной системы, деграляция биогеоценозов
		Нитратное				
		Пестицидное				
		Гербицидное				
		Тяжелыми металлами				
Углеводородное						
Кислотное						

Класс воздействия	Тип воздействия	Вид воздействия	Разновидность воздействия	Показатель воздействия	Потенциальные источники воздействия	Экологические последствия воздействия
Биологическое	Щелочное	Засоление	То же	То же	Кислотные дожди	Улучшение экологических условий, развитие биогеоценозов
	Очистка	Рассоление	То же	Объем закрепления	Объекты технической мелиорации	Изменение природных биогеоценозов
		Разбавление				
Загрязнение массивов	Загрязнение массивов	Цементация	То же и по видам микроорганизмов	Объем закрепления	Объекты технической мелиорации	Отравление и заражение людей и животных, развитие очагов инфекций
		Силикатизация				
		Битумизация				
Очистка	Очистка	Известкование и др.	То же и по видам микроорганизмов	Объем закрепления	Объекты технической мелиорации	Улучшение экологических условий
		Бактериологическое				
Очистка	Очистка	Микробиологическое	То же и по видам микроорганизмов	Объем закрепления	Объекты технической мелиорации	Улучшение экологических условий
		Стерилизация				

8.7.1. Создание антропогенных ландшафтов и антропогенного рельефа

Наиболее существенные изменения антропогенные процессы производят в рельефе земной поверхности, причем как равнинном, так и горном. В одних случаях техногенная деятельность вызывает денудацию земной поверхности, что, в свою очередь, приводит к выравниванию рельефа, а в других в результате аккумуляции материала создаются разнообразные аккумулятивные формы рельефа — мелкогрядовый, холмистый, техногенно-расчлененный, террасированный.

По степени распространения и по своему происхождению антропогенные формы рельефа и создаваемые руками человека ландшафты группируются в несколько типов.

Городской (селитебный) ландшафт характеризуется почти полным изменением естественного рельефа, сменой положения и видоизменениями условий деятельности гидросети, преобразованием почвенного покрова, сооружением промышленно-хозяйственных и жилых построек, значительным понижением или повышением уровня грунтовых вод. В одних случаях из-за понижения статического уровня водоносных горизонтов они перестают дренироваться реками, что приводит к значительному их обмелению и в некоторых случаях к полному исчезновению. В пределах городских агломераций в результате аварий на водопроводах и в канализационных системах в подпочвенные горизонты поступают воды, что приводит к повышению уровня грунтовых вод и к подтоплению жилых и промышленных зданий.

Создание городских ландшафтов ведет к необратимым изменениям в составе атмосферы и климата над городскими агломерациями. В частности, чем крупнее населенный пункт, тем большая разница между дневными и ночными температурами, между температурами в центре и пригороде. Это вызвано тем, что промышленные предприятия выделяют в атмосферу значительное количество теплоты и парниковых газов. Точно так же в результате выбросов в атмосферу газов при работе промышленных предприятий и автотранспорта состав атмосферных газов над городами существенно иной, чем над сельскими территориями.

Горно-промышленный ландшафт отличается созданием наряду с производственными зданиями систем обогащения, очистки и складирования отходов с соответствующей инфраструктурой горно-обогатительных комбинатов (ГОК), карьеров, выемок и шахт, строительством террасированных воронок, иногда заполненных водой, расположением озер в карьерах и выемках, внешне сходных с карстовыми озерами. Техногенные отрицательные формы рельефа чередуются с положительными — отвалами, терриконами, насыпями вдоль железных и грунтовых дорог.

Создание горно-промышленного ландшафта влечет за собой уничтожение древесной растительности. При этом существенно изменяется не только растительный покров, но и состав почв.

Открытая и подземная разработка полезных ископаемых наряду с выемкой грунта и горных пород обычно сопровождается обильным водопритоком за счет подземных вод, дренирующих с разных горизонтов горных выработок. В результате этого создаются огромные депрессионные воронки, снижающие уровень грунтовых вод в районе горно-промышленных объектов. Это приводит, с одной стороны, к заполнению карьеров и выемок водой, а с другой, когда происходит снижение уровня грунтовых вод, — к осушению земной поверхности и ее опустыниванию.

Горно-промышленные ландшафты формируются на протяжении довольно короткого времени и занимают обширные территории. Особенно это характерно для разработки месторождений полезных ископаемых, обладающих пластообразными полого залегающими породами. Такими, в частности, являются пласты каменного и бурого угля, железных руд, фосфоритов, марганца, стратиформных полиметаллических месторождений. Примерами горно-промышленных ландшафтов являются ландшафты Донбасса и Кузбасса, Курской магнитной аномалии (районы городов Белгород, Курск и Губкин) и т.д.

Ирригационно-технический ландшафт характеризуется наличием системы каналов, канав и арыков, а также запруд, прудов и водохранилищ. Все перечисленные системы существенно меняют режим поверхностных и особенно грунтовых вод. Заполнение водохранилищ и подъем уровня воды до высоты верхнего бьефа плотин приводит к подъему уровня грунтовых вод, что, в свою очередь вызывает подтопление и заболачивание примыкающих территорий. В засушливых регионах этот процесс в связи с присутствием в воде значительных примесей солей сопровождается засолением почв и образованием солончаковых пустынь.

Сельскохозяйственный ландшафт на Земле занимает около 15 % площади всей суши. Он создан на Земле более 5000 лет тому назад, когда человечество перешло от потребительского отношения к природе в процессе собирательства и охоты к производительному хозяйству — созданию земледельческих и скотоводческих цивилизаций. С тех пор человечество продолжает осваивать все новые территории. В результате интенсивной преобразовательной деятельности на поверхности Земли многие природные ландшафты окончательно преобразовались в антропогенные. Исключение составляют высокогорные и горно-таежные ландшафты, которые в силу своего сурового климата не привлекают человечество. На месте лугов, степей, лесостепей, лесных массивов в равнинных и предгорных территориях возникают освоенные сельскохозяйственные ландшафты. Техногенные сельскохозяйственные ландшафты, в частности

земля для отгонного скотоводства, создаются в результате орошения пустынь и полупустынь. На месте осушенных озер и морских побережий и особенно на заболоченных территориях возникают типичные сельскохозяйственные ландшафты. На склонах гор в субтропическом климате, подверженных привносу влаги, создаются террасированные ландшафты, используемые под выращивание цитрусовых, чая и табака.

Создание сельскохозяйственного ландшафта сопровождается не только выравниванием территории и удалением находящихся на поверхности мешающих проведению сельскохозяйственных работ глыб и валунов, но и засыпкой оврагов, сооружением террасовидных уступов на склонах гор, дамб и насыпей, защищающих сельскохозяйственные угодья и хозяйственные постройки от потоков воды во время половодий и паводков.

Характерной разновидностью антропогенного ландшафта являются *пальдеры* — бывшее дно шельфа морей с расположенными на них садами и полями. Пальдерные ландшафты широко распространены в Бельгии, Франции, Италии и Нидерландах.

Военный ландшафт возникает в процессе ведения военных операций и крупномасштабных военных учений, а также на территории военных полигонов различного назначения. Он характеризуется широким распространением мелкобугорчатого рельефа, возникающего в результате образования многочисленных воронок, ложбин и насыпей от взрывов, а также мелких отрицательных и положительных форм рельефа. Последние формируются при проведении военно-инженерных мероприятий (строительство насыпей дорог, укрепленных районов и т.д.). Свообразный ландшафт дополняют военные инженерные сооружения — противотанковые рвы, окопы, подземные убежища и ходы сообщения.

Преобразованные природные ландшафты и созданный антропогенный рельеф в своем большинстве являются необратимыми и долгоживущими формами. Неблагоприятные экологические последствия некоторых антропогенных ландшафтов могут быть сведены до минимума рекультивационными работами, которые подразумевают частичное или полное восстановление былого природного ландшафта и существовавшего почвенно-растительного покрова на местах открытой разработки месторождений полезных ископаемых, мест военных действий и военных учений и т.д.

8.7.2. Активизация процессов экзогенной геодинамики в результате антропогенной деятельности

Активная хозяйственная деятельность человека не только преобразует природные ландшафты, но способствует развитию и более энергичному проявлению процессов экзогенной, а в ряде случаев и эндогенной геодинамики.

Проходка подземных горных выработок (шахт, штолен, штреков, вертикальных стволов) ведет к перехвату подземных вод, нарушению их режима, понижению уровня, а это, в свою очередь, сопровождается или осушением, или обводнением, или заболачиванием поверхностных территорий. Кроме того, подземные горные выработки стимулируют гравитационные процессы как на поверхности, так и в глубине. Происходят провалы, проседания, обвалы, оползни и смещения блоков горных пород.

Широкое использование методов подземного выщелачивания при добыче полезных ископаемых, закачка в специальные буровые скважины по контурам нефтяных месторождений морских и пресных вод, закачка в буровые скважины термальных вод в процессе добычи серы и тяжелой нефти, захоронение отходов химического производства приводят к резкой активизации процессов растворения горных пород. Возникают и начинают действовать рукотворные карстовые процессы. Вследствие возникновения подземных пустот и галерей на дневной поверхности появляются провальные гравитационные формы рельефа — воронки, просадки, поля.

В процессе сельскохозяйственного освоения и бесконтрольного использования земель резко усиливаются поверхностная и боковая эрозии. Возникает овражно-балочная сеть. Особенно это характерно при массовой распашке земель и нерегулируемом выпасе скота. Эти же действия способствуют бороздовой и плоскостной дефляции, в результате чего уничтожается плодородный почвенный покров и дерновый слой.

Большие изменения появляются вследствие нарушения теплового режима в криолитозоне при промышленном и городском строительстве, при прокладке транспортных магистралей, сооружении нефте- и газопроводов, при разработке месторождений полезных ископаемых. В многолетнемерзлых грунтах, выведенных на поверхность и подвергающихся тепловому воздействию, активизируются криогенные процессы. Увеличивается скорость вытаивания подземных вод; происходит разжижение грунтов; образуются термокарст, наледи и бугры пучения. На склонах усиливается солифлюкционное перемещение грунтов. Одновременно происходит деградация тундровых почв и ликвидируются или видоизменяются тундровые ландшафты.

Мелиорация болот, так же как и ирригация, нарушает гидрогеологический режим подземных вод. Эти процессы сопровождаются или дополнительным заболачиванием, или опустыниванием.

Вырубка лесов на склонах гор не только оголяет их, но и способствует возникновению подводных осыпей и камнепадов, резко усиливает селеопасность территории и создает угрозу схода лавин.

Возникновение большого объема подземных пустот в процессе добычи полезных ископаемых, выкачка нефти и газа, меняющая

внутрипластовое давление, а также создание больших по площади и глубине водохранилищ приводят к усилению напряжения в толщах горных пород. Внутренние смещения и обрушения пустот вызывают наведенные землетрясения, которые по своей силе приближаются к природным сейсмогенным явлениям.

8.7.3. Последствия антропогенных изменений состояния геологической среды

Естественное напряженное состояние (ЕНС) представляет собой совокупность напряженных состояний геологических тел (массивов изверженных и метаморфогенных горных пород, отдельных блоков, тел полезных ископаемых и т.д.) вследствие воздействия естественных факторов. Основной и постоянно действующей причиной ЕНС является гравитация. С ней сочетаются вертикальные и горизонтальные тектонические движения земной коры, денудация и аккумуляция толщ горных пород.

В конкретных геологических телах (слой, пачка, толща, интрузив, тело полезных ископаемых и т.д.) или в массивах горных пород напряженное состояние характеризуется определенным полем напряжения. Его качественное выражение зависит от физического состояния слагающих эти тела горных пород, т.е. от формы, размера, деформированности, прочности, вязкости, обводненности и т.д.

Напряжения, вызванные тектоническими, сейсмическими, вулканическими, физическими или иными причинами, реализуются в геологической среде в виде дислокаций. К ним относятся трещины и трещиноватость, кливаж, линеаменты, глубинные разломы, кольцевые структуры.

Трещинами называют нарушения сплошности горных пород и их слоев, по которым отсутствуют перемещения. Множество трещин в горной породе определяет ее физическое состояние. По морфологии трещины подразделяют на открытые (зияющие), закрытые и скрытые; по размерам — на микроскопические, малые, большие, а по генезису — на тектонические и нетектонические. Среди первых различают трещины отрыва и скалывания. Нетектонические трещины возникают при диа- и катагенезе осадочных горных пород, остывании магматических горных пород, при метаморфизме, в результате разгрузки напряженности горных пород за счет денудации, при напоре на породы надвигающихся ледников.

Независимо от причин трещинообразование происходит в поле ротационных напряжений. Это, в свою очередь, определяет закономерную ориентировку планетарной трещиноватости. Она может быть ортогональной или диагональной.

Трещины и зоны трещиноватости являются областями, по которым осуществляются миграция и разгрузка атмосферных и под-

земных вод. Это влияет на интенсивность протекания экологических неблагоприятных экзогенных процессов — мерзлотного выветривания и криогенных процессов, оврагообразования, карстообразования, гравитационных склоновых процессов.

Кливаж (от франц. *clivage* — раскол) — система параллельных трещин в горных породах, не совпадающих с первичной текстурой пород (в осадочных породах кливаж не совпадает со слоистостью), по которым породы легко раскалываются. Первичный кливаж возникает под влиянием главным образом внутренних причин, зависящих от вещества самой породы, от внутреннего сокращения ее объема в процессах литификации и метаморфизма. В осадочных породах первичный кливаж выражается, обычно в образовании перпендикулярных друг другу и к наклону слоистости параллельных трещин. Вторичный кливаж является результатом деформации горных пород под влиянием внешних, в основном тектонических воздействий. Последний разделяется на кливаж течения и кливаж разлома.

Линеаменты и кольцевые структуры хорошо выражены и читаются на космоснимках различных уровней генерализации. Линеаменты — это линейные аномалии, обладающие значительным превышением длины над шириной и выраженные на отдельных отрезках спрямленными элементами геологической структуры. Они проявляются как в форме отдельных трещин, разрывных нарушений, даек магматических пород и их систем, так и в форме эрозионно-денудационного или аккумулятивного рельефа. Последнее выражается в виде распределения по определенной системе эрозионно-овражной сети, уступов речных террас, сети рек, водораздельных гребней и т.д.

Линеаментные зоны, или области концентрации линеаментов, пересекают как платформенные структуры, так и складчатые пояса. Ширина их составляет от сотен метров до первых десятков километров, а протяженность — многие сотни и тысячи километров. Это специфический класс структур, отражающий своеобразный план распределения трещиноватости.

Кольцевые структуры — это геологические объекты изометрической и овальной формы, выявляющиеся на космических снимках. Наиболее крупные структуры достигают в поперечнике 1000 км и более. В крупные кольцевые структуры довольно часто вписаны более мелкие кольца, овалы, полукольца и полуовалы. Диаметр самых мелких структур составляет около 50 км.

На земной поверхности кольцевые структуры выражаются расположенными в форме дугообразных и кольцевых систем трещин, разрывов, магматических тел, форм рельефа эрозионного и тектонического происхождения.

По генезису выделяют магматогенные, тектоногенные, метаморфогенные, космогенные и экзогенные структуры. Широко рас-

пространены кольцевые структуры сложного полигенного происхождения. Они отличаются своеобразным расположением элементов рельефа на земной поверхности. Экологическая роль линейных элементов и кольцевых структур полностью не выяснена. По-видимому, они имеют такое же геоэкологическое значение, как и остальные структурные элементы, сформированные в областях естественного напряженного состояния геологической среды. С ними связаны изменения в распределении поверхностных и подземных вод, скорость и интенсивность протекания экзогенных и некоторых эндогенных процессов, а также некоторые геопатогенные зоны.

Глубинные разломы представляют собой зоны подвижного сочленения крупных блоков земной коры, обладающие значительной протяженностью (многие сотни и тысячи километров) и шириной (несколько десятков километров). Глубинные разломы пересекают не только всю литосферу, но нередко распространяются ниже границы Мохоровичича и характеризуются длительностью существования. Как правило, они состоят из сближенных крупноамплитудных разрывных нарушений различной морфологии и опирающих их разломов. Вдоль разломов проявляются вулканические и сейсмические процессы, осуществляются перемещения блоков земной коры.

Исходя из геологической роли глубинных разломов определяется их экологическая значимость. К глубинным разломам приурочено большинство очагов мелкофокусных и глубокофокусных очагов тектонических землетрясений. Вдоль глубинных разломов и особенно в местах их взаимного пересечения отмечаются наиболее интенсивные вариации внешнего и аномального геомагнитных полей, возбуждаемых солнечной активностью, космическим излучением, внутриземными физико-химическими и тектоническими процессами, перемещением подземных вод различной глубины залегания. Вариации геомагнитного поля воздействуют на физическое поле человека, меняют параметры его биомагнитного и электрического полей, тем самым оказывая воздействие на психическое состояние человека, действуют на различные органы, нередко вызывая их функциональные расстройства.

К глубинным разломам приурочены места выхода из недр расплавленных горных пород. Они являются каналами дегазации Земли, путями подъема из земных недр трансмантийных флюидов, состоящих из водорода, гелия, азота, диоксида и оксида углерода, паров воды и других химических элементов и соединений.

Вдоль глубинных разломов происходят вертикальные и горизонтальные перемещения блоков земной коры. Такие перемещения вызваны глубинными причинами, размеры их составляют 8—15 мм в год. В том случае, когда в зоне глубинных разломов располагаются сложные и экологически опасные тектонические объекты, смещения могут привести к нарушению целостности граждан-

ских, промышленных и военных объектов со всеми вытекающими последствиями.

Инженерно-геологическая деятельность приводит к нарушению сложившегося естественного напряженного состояния геологической среды. Деформации массивов и блоков горных пород на глубине и на поверхности активизируют перемещения блоков по дислокациям, вызывают опускания земной поверхности, порождают наведенную сейсмичность (антропогенные землетрясения), рожают горные удары и внезапные выбросы, разрушают инженерные сооружения.

Опускания земной поверхности. На многих территориях промышленных и городских агломераций на фоне природных тектонических перемещений земной поверхности наблюдаются процессы внезапного опускания поверхности, вызванные техногенной деятельностью. По частоте проявления, скоростям и негативным последствиям техногенные опускания превосходят естественные тектонические движения. Грандиозность последних вызвана длительностью проявления геологических процессов.

Одной из причин опускания урбанизированных территорий является дополнительная статическая и динамическая нагрузка от зданий, сооружений и транспортных систем города, от возникающих под ними пустот после разрывов канализационных и водопроводных систем. Еще больший эффект оказывают пустоты, оставленные после извлечения из недр подземных вод и других видов полезных ископаемых. Например, территория г. Токио только за период 1970—1975 гг. опустилась на 4,5 м. На территории г. Мехико интенсивная откачка подземных вод привела в 1948—1952 гг. к опусканию поверхности со скоростью до 30 см/год. К концу 70-х годов XX в. значительная часть территории города опустилась на 4 м, а его северо-восточная часть — даже на 9 м.

Добыча нефти и газа обусловила оседание территории небольшого городка Лонг-Бич вблизи г. Лос-Анджелеса (США). Величина опускания к началу 50-х годов XX в. достигла почти 9 м. От проседания серьезно пострадали промышленные и жилые здания, морской порт и транспортные магистрали.

В России проблема проседания связана в первую очередь с обширными территориями. Особенно актуальна она для Западной Сибири, где добывают жидкие и газообразные углеводороды, Западного Приуралья, Поволжья и Прикаспия, а также для Кольского полуострова, на территории которого расположены многочисленные горнодобывающие предприятия. Опускания этих территорий даже на несколько десятков сантиметров довольно опасны. Так, в Западной Сибири они усиливают заболачивание, в Приуралье и Поволжье интенсифицируют карстовые процессы.

Наведенная сейсмичность. Суть наведенной сейсмичности состоит в том, что вследствие антропогенного вмешательства в гео-

логическую среду в ней происходит перераспределение существовавших или образование дополнительных напряжений. Это влияет на течение природных процессов, ускоряя их образование, и порой играет роль своеобразного «спускового механизма». Тем самым увеличивается частота природных землетрясений, а антропогенные действия способствуют разрядке уже накопленных напряжений, оказывая триггерное действие на подготовленное природой сейсмическое явление. Иногда действие антропогенного фактора само является фактором накопления напряженности в сейсмических полях.

Возможность проявления наведенной сейсмичности резко возрастает, если антропогенному воздействию подвергается зона глубинного разлома, вдоль которой генерируются очаги возбужденных землетрясений. Изменение естественного напряженного состояния геологической среды приводит к регенерации отдельных разрывов, входящих в зону глубинного разлома, и вызывает сейсмическое событие.

Наиболее мощными объектами, в которых реализуется наведенная сейсмичность, являются мегаполисы и крупные промышленные центры, водохранилища, шахты и карьеры, районы закачки газовых флюидов в глубокие горизонты геологической среды, проводимые подземные ядерные и неядерные взрывы большой мощности.

Механизм воздействия каждого фактора имеет свою специфику. Особенности проявления наведенной сейсмичности в районе крупных водохранилищ рассматривались выше.

Промышленные центры, так же как и горные выработки, меняют естественное напряженное состояние среды. Их перераспределение создает в одних местах дополнительную нагрузку (мегаполисы, крупные промышленные центры), а в других — разгрузку (горные выработки) земных недр. Тем самым те и другие после накопления напряженности вызывают разрядку в виде землетрясения. Наведенная сейсмичность может возникать также в результате изменения гидростатического давления в геологической среде после откачки нефти, газа или подземных вод и при закачке различных жидких веществ в буровые скважины. Закачка проводится с целью захоронения загрязненных вод, создания подземных хранилищ в результате растворения каменной соли на глубине, обводнения залежей углеводородов для поддержания внутрипластового давления. Примеры возникновения наведенных землетрясений многочисленны. В 1962 г. в штате Колорадо (США) произошли землетрясения, вызванные закачкой отработанных радиоактивных вод в скважину на глубину около 3670 м, пробуренную в докембрийских гнейсах. Очаги находились на глубине 4,5—5,5 км, а эпицентры — вблизи скважины вдоль проходившего недалеко разрывного нарушения.

На Ромашкинском месторождении нефти в Татарии в результате многолетнего законтуренного обводнения было отмечено повышение сейсмической активности и появление наведенных землетрясений силой до 6 баллов. Аналогичной силы наведенные землетрясения происходили в Нижнем и Среднем Поволжье в результате изменения внутрипластового давления, а возможно и в результате проведения подземных испытательных взрывов для регулирования внутрипластового давления.

Крупные землетрясения магнитудой более 7 произошли в 1976 и 1984 гг. в Газли (Узбекистан). По мнению специалистов, они были спровоцированы закачкой 600 м³ воды в Газлийскую нефтегазодносную структуру с целью поддержания внутрипластового давления. В конце 80-х годов XX в. вблизи ряда горнодобывающих предприятий на Кольском полуострове, в частности в Апатитах, произошла серия землетрясений силой около 6 баллов. По свидетельству специалистов, землетрясения были спровоцированы сильными взрывами при проходке подземных выработок и обрушением оставшихся в них пустот. Подобные наведенные землетрясения довольно часто происходят на территориях угледобывающих предприятий в Донбассе, Кузбассе, Воркуте в результате просадок поверхностных частей над шахтами.

Подземные ядерные взрывы сами по себе вызывают сейсмические эффекты, а в сочетании с разрядкой накопленных природных напряжений способны спровоцировать весьма опасные наведенные афтершоки. Так, взрывы подземных ядерных зарядов на полигоне в штате Невада (США) с тротиловым эквивалентом, равным нескольким мегатоннам, инициировали сотни и тысячи толчков. Они длились несколько месяцев. Магнитуда основного толчка из всех толчков была на 0,6, а других последующих толчков на 2,5—2 меньше магнитуды самого ядерного взрыва. Подобные афтершоки наблюдались после подземных ядерных взрывов на Новой Земле и в Семипалатинске. Сейсмические толчки были зарегистрированы многими мировыми сейсмостанциями.

Несмотря на то что энергия афтершоков обычно не превышает энергию самого взрыва, случаются и исключения. После подземного взрыва в апреле 1989 г. на Кировском руднике в ПО «Апатит» на горизонте +252 м произошло землетрясение силой 6—7 баллов в эпицентре и магнитудой, равной 4,68—5,0. Сейсмическая энергия составила 10¹² Дж при энергии самого взрыва 10⁶—10¹⁰ Дж.

Горные удары и внезапные выбросы возникают в результате нарушения естественного напряженного состояния геологической среды при проходке подземных горных выработок, созданных при разработке полезных ископаемых. Горный удар — внезапное быстротекущее разрушение предельно напряженной части массива полезных ископаемых или массы горных пород, прилегающей к горной выработке. Он сопровождается выбросом

пород в горную выработку, сильным звуковым эффектом, возникновением воздушной волны. Подобные явления довольно часто происходят в шахтах во время добычи полезных ископаемых. Они случаются при проходке туннелей при строительстве подземных линий метро и т.д.

Горные удары обычно происходят на глубинах свыше 200 м. Вызываются они наличием в массиве горных пород тектонических напряжений, превышающих по величине гравитационные в несколько раз. По силе проявления выделяют стрельания, толчки, микроудары и собственно горные удары. Наибольшую опасность представляют горные удары, возникающие при проходке шахт через хрупкие горные породы — сланцы и добыче каменного угля.

Степень удароопасности оценивают на основе регистрации явлений и процессов, сопровождающих бурение скважин (выход и размерность бурового шлама, захват бурового снаряжения в скважине, раскалывание керна на диски сразу же после его поднятия на поверхность), а также по различным геофизическим параметрам (скорости прохождения упругих волн, электрическому сопротивлению).

Ограничить силу горного удара можно применением специальных проходческих комбайнов, созданием специальных щитов, податливой крепи, исключением особо опасных горных выработок из использования.

Внезапный выброс представляет собой самопроизвольный выброс газа или полезного ископаемого (угля или каменной соли), а также вмещающей горной породы в подземную выработку. Выброс длится всего несколько секунд. С увеличением глубины горной выработки частота и сила выбросов увеличиваются. Горная выработка заполняется природным газом (метаном, углекислым газом, азотом) и массой раздробленных пород. Самый мощный в мире внезапный выброс составил 14 тыс. т угля и 600 тыс. м³ метана. Это произошло в 1968 г. в Донбассе на глубине 750 м. Горные удары и внезапные выбросы приводят к разрушению подземных выработок и гибели людей, работающих под землей.

Геологические и геолого-сейсмические данные свидетельствуют о трехчленном внутреннем строении Земли. По своему строению и функциональным направлениям резко различаются континентальный и океанский типы земной коры. Геологическая среда — это пространство, в котором протекают геологические процессы. Экологическая роль литосферы состоит из ресурсной, геодинамической и геофизико-геохимической функций. К ресурсной функции относятся комплексы полезных ископаемых, добываемых из недр и используемых человечеством для получения энергии и вещества. Геодинамическая роль проявляется в форме геологических процессов, влияющих на жизнедеятельность организмов, в том числе и человека. Некоторые из них носят катастрофический характер. Геофизико-геохимическая роль

пределяется влиянием геофизических полей разной интенсивности и природы и геохимических аномалий на жизнедеятельность организмов. Эндогенные процессы вызывают сильные изменения физико-географических условий и нередко становятся негативными. Геофизические и геохимические аномалии по происхождению разделяют на природные и антропогенные. Все они отрицательно влияют на здоровье человека. Антропогенная деятельность создает специфические ландшафты и формы рельефа. В процессе антропогенной деятельности активизируются процессы экзогенной геодинамики.

Контрольные вопросы

1. Каково внутреннее строение Земли?
2. Каково строение земной коры?
3. Что такое литосфера?
4. Что означает понятие «геологическая среда»?
5. В чем состоит экологическая функция литосферы?
6. Какова ресурсная и геодинамическая роль литосферы?
7. Какова геофизико-геохимическая роль литосферы?
8. Какие существуют неблагоприятные геодинамические процессы?
9. В чем заключается отрицательная роль эрозии континентов?
10. Какую роль играют склоновые процессы?
11. Как и где возникают оползни?
12. Какие существуют карстовые формы рельефа?
13. Что такое суффозия?
14. В чем заключается отрицательная геоэкологическая роль мерзлотных процессов?
15. Какую негативную геоэкологическую роль играют извержения вулканов и землетрясения?
16. В чем особенность геофизических и геохимических аномалий?
17. Каковы последствия антропогенного воздействия на геологическую среду?
18. Какие ландшафты и формы рельефа создаются в результате антропогенной деятельности?
19. В чем заключается активизация процессов внешней экзодинамики в среде антропогенной деятельности?

Литература

- Богдановский Г. А. Химическая экология. — М., 1994.
Вахрамеев Г. С. Экологическая геофизика. — Иркутск, 1995.
Ковальский В. В. Геохимическая экология. — М., 1977.
Королев В. А., Николаева С. К. Геоэкологическая оценка зон влияния инженерных сооружений на геологическую среду // Геоэкология. — 1994. — № 5.
Лукашев В. К. Геологические аспекты окружающей среды. — Минск, 1980.
Щетников И. А. Цунами. — М., 1981.

БИОСФЕРА И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА

9.1. Основные особенности биосферы. Ее строение и развитие

Биосфера (от греч. «биос» — жизнь, «сфера» — шар) — это область существования и распространения живого вещества. Академик В. И. Вернадский сформулировал понятие биосферы следующим образом: «Биосфера есть организованная, определенная оболочка земной коры, сопряженная с жизнью, и ее пределы обусловлены прежде всего полем существования жизни». Он считал, что биосфера геологически вечна. Следовательно, биосфера — это самая крупная экологическая система, система высшего ранга. В современном состоянии она охватывает нижнюю часть атмосферы до высоты озонового слоя, всю гидросферу, педосферу и верхнюю часть литосферы до глубины распространения живых микроорганизмов. Если верхняя граница биосферы достаточно четкая, то нижняя расплывчата и изменяется не только от Мирового океана к континентам, но и в пределах самих континентов. В их пределах и под дном океанов она ограничивается температурами существования микроорганизмов.

Биосфера функционирует благодаря взаимодействию с атмосферой, гидросферой и литосферой, получая от них энергию, биофильтруя вещества и химические соединения, необходимые для жизнедеятельности.

Наличие биосферы отличает Землю от других планет Солнечной системы. Кислородная атмосфера, глобальный круговорот воды, глобальные круговороты фосфора, углерода, азота и их соединений, так необходимые для функционирования биосферы, существуют только на Земле. Биота играет определяющую роль во всех глобально протекающих биогеохимических процессах и циклах. Благодаря биоте обеспечивается гомеостаз системы, т. е. способность поддерживать ее основные параметры в благоприятных для жизнедеятельности условиях, несмотря на внешние воздействия как естественного, так и антропогенного характера.

Основной процесс образования органического вещества — фотосинтез. Главной целью этого процесса является создание живого вещества из неживого, что обеспечивает устойчивое образование важнейшего из природных ресурсов — первичной биологической продукции.

Судьбу современной биосферы во многом предопределил процесс цефализации. Он заключается в обособлении головы у билатерально-симметричных животных и сосредоточении в ней органов чувств, передних отделов центральной нервной системы, которые у остальных животных находятся в других частях тела. Дорсальности этих жизненно важных органов у позвоночных развились череп.

Биосфера возникла на самой ранней стадии развития Земли и в течение длительной геологической истории медленно эволюционировала. На первых этапах (4,0—3,5 млрд лет назад) биосфера состояла в основном из прокариотных существ, среди которых главными были синезеленые водоросли, бактерии и вирусы. Их существование обеспечивала восстановительная бескислородная атмосфера. С возникновением эукариот существенно меняются функции и условия взаимодействия биосферы с другими геосферами. На протяжении длительного времени (3,5—0,65 млрд лет) совместно существовали прокариотные и эукариотные существа, которые в основном являлись одноклеточными формами. Важнейшей вехой в развитии биосферы было появление свободного кислорода в атмосфере и гидросфере и постепенное возникновение озонового экрана. С этого времени главенствующая роль переходит к многоклеточным формам. Появляются и расселяются организмы с твердым известковым, хитиновым и кремнистым скелетом, развиваются разнообразные водоросли и грибы.

Важным рубежом для развития биосферы был ордовикский период, в течение которого растительность постепенно переместилась на сушу, а среди водных организмов появились позвоночные животные с обособленным черепом. Около 350—400 млн лет назад, в девонском периоде, животные вышли на сушу. В течение последующих геологических периодов позвоночные освоили все обитания все существовавшие экологические ниши. В триасовом периоде появились первые млекопитающие, которые заняли главенствующее положение в палеогеновом периоде, после массового вымирания динозавровой фауны 65 млн лет тому назад. В это время началось выделение приматов. Около 35—40 млн лет назад возникли антропоиды. Среди них около 5 млн лет назад появились гоминины, а всего 3,5 млн лет назад возник человек.

9.2. Экологические функции живого вещества

Впервые учение о функциях живого вещества обосновал академик В. И. Вернадский. Позже А. И. Перельман, А. В. Лапо, А. А. Шенниковский и другие исследователи развили его учение. В первой половине XX в. Вернадский выделил девять биогеохимических функций живого вещества: газовую, кислородную, окислительную,

кальциевую, восстановительную, концентрационную, функцию разрушения органических соединений, функцию восстановительного разложения, функцию метаболизма и дыхания организмов.

Последователи В. И. Вернадского в дальнейшем объединили и укрупнили вышеперечисленные функции, а также отнесли к ним энергетическую и продукционную экологические функции. Все экологические функции живого вещества являются предметом специального и детального рассмотрения в рамках биологической науки. В рамках геоэкологии очень важным представляется рассмотрение энергетической, газовой, почвенно-элювиальной, водоочистной, водорегулирующей, концентрационной, транспортной и деструктивной функций.

Энергетическая функция. Органическое вещество морей, океанов и суши многообразно влияет на энергетику Земли. Энергетическая функция живого вещества — это широкое развитие процессов фотосинтеза и хемосинтеза. Живое вещество существенным образом влияет на содержание парниковых газов в атмосфере. Эмиссия углекислого газа, метана и оксидов азота за счет биогенных процессов ныне существенно превосходит их поступление в атмосферу в результате газового дыхания Земли.

Живое вещество повышает поглощение солнечной радиации земной поверхностью, меняя, порой существенно, отражательную способность (альбедо) не только суши, но и океана. Растительность суши значительно снижает отражение коротковолновой солнечной радиации. Альбедо лесов, лугов и засеянных полей не превышает 25 %, но чаще составляет 10—20 %. Меньшим альбедо обладают водная поверхность и влажный чернозем, составляя 5 %. Поверхность песчаных пустынь, снежный или ледовый покров отражают до 90 % солнечных лучей, но когда вследствие изменения климата они покрываются растительностью, уровень альбедо снижается. Сухой снежный покров отражает 85—95 % солнечной радиации, а лес, даже при наличии устойчивого снежного покрова, — только 40—45 %.

Водная поверхность сама по себе отражает небольшую долю солнечной радиации (около 25—35 %). С одной стороны, уменьшению альбедо способствуют организмы, очищающие водные массы от взвесей, а с другой — микропланктон, наоборот, сам по себе препятствует отражению.

Мощный процесс связывания энергии называется *транспирацией*. Он как бы обслуживает фотосинтез. При этом на переход воды в пар затрачивается не только солнечная энергия, но и теплота нагретых воздушных масс (адективная теплота). В процессе испарения влаги растения оказывают большое влияние на круговорот воды, а следовательно, на баланс энергии.

С покрытых лесами земель планеты в верхнюю часть тропосферы влага поступает в скрытой форме в виде водяного пара и боль-

ших количеств теплоты. На суше самым мощным насосом, перераспределяющим влагу и теплоту в атмосфере, являются влажно-тропические леса. В их пределах, на площади немногим более 10 % площади суши, поглощается почти 30 % теплоты, затрачиваемой на испарение. Согласно А. Н. Кренке, области, продуцирующие большие потоки теплоты в атмосферу, называются термоактивными зонами. Это не только леса — источники повышенного количества скрытой теплоты, но и пустыни — области мощного восходящего турбулентного потока теплоты.

Насыщение атмосферы влагой над территориями, покрытыми лесной и степной растительностью, противодействует быстрому охлаждению с образованием плотных антициклональных масс. Наземный растительный покров дополнительно насыщает атмосферу водяным паром, который является терморегулятором в термическом режиме биосферы.

Особенно большую роль играет живое вещество в защите атмосферы от запыленности. Чем сильнее запылена атмосфера, тем выше ее отражательная способность, тем меньше солнечной энергии достигает земной поверхности.

Главной особенностью растительной массы является процесс фотосинтеза: с одной стороны, идет выработка органической массы, необходимой для питания консументов первого порядка, а с другой — в процессе фотосинтеза вырабатывается кислород путем поглощения углекислого газа. Согласно сведениям, приводимым С. П. Горшковым (1998), живое вещество суши и океана не только аккумулирует биогеохимическую энергию, но и оказывает биогеофизическое воздействие на атмосферу и поверхностные воды гидросферы. Соотношение важнейших показателей энергетики Земли, области прихода и расхода энергии, Дж/г, приведены ниже:

Приход солнечной энергии	$3,6 \cdot 10^{24}$
Потеря энергии в форме коротковолнового излучения	$1,0 \cdot 10^{24}$
Поглощение энергии земной поверхностью	$1,7 \cdot 10^{24}$
В том числе:	
на транспирацию	$0,115 \cdot 10^{24}$
на синтез валовой первичной продукции суши	$0,05 \cdot 10^{24}$
на синтез первичной продукции океана	$0,16 \cdot 10^{24}$
Производство первичной энергии человечеством	$0,47 \cdot 10^{21}$
Кондуктивный тепловой поток из земных недр	$0,8 \cdot 10^{21}$

Специфика энергетической функции живого вещества состоит также в том, что часть отмершего органического вещества длительное время способна сохраняться в различных частях биосферы. Главной депонирующей средой являются земные недра, в которых в условиях восстановительной среды мертвое органическое вещество сохраняется в течение многих геологических периодов. Промежуточными резервуарами мертвого органического вещества

Таблица 9.1

Запасы органического вещества и значение аккумулярованной энергии

Природные резервуары	Масса ОВ в сухом состоянии, 10^{15} г	Энергия, 10^{21} Дж
Почвенная подстилка	202	4,2
Почвенный гумус	2846	59,8
Почвенные воды	66	1,4
Болотные воды	46	1,0
Реки, озера, водохранилища	4	0,8
Мировой океан	3660	76,9
Подземные воды	5000	105,0
Ледники и подземные льды	51	1,1
Донные осадки океана	445	9,3
Итого	12 320	259,5

являются почвы, поверхностные и подземные воды суши, Мировой океан, донные илы. Обновление запасов органического вещества длится тысячелетиями, а в донных осадках — сотни тысяч и миллионы лет. Согласно Е. А. Романкевичу, фоссилзация органического вещества в донных осадках Мирового океана для голоцена составляет 22 млн т/год. Органическое вещество разлагается бактериями и окисляется. Оно в рассеянном виде присутствует в осадочных горных породах и в определенных ландшафтах, в которых создаются соответствующие благоприятные условия (озерно-болотные системы, поймы и старицы рек, приморские низменности). В этих ландшафтах органическое вещество формируется в виде скоплений торфа, бурого и каменного угля, горючих сланцев, а также нефти и газа, что отражает точку зрения об органическом происхождении нефтегазовых залежей. Однако, как известно, данная точка зрения оспаривается сторонниками гипотезы неорганического происхождения нефти.

Объемы органического вещества (ОВ), находящегося в разных природных резервуарах, и значение аккумулярованной в них энергии показаны в табл. 9.1.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что в мертвом органическом веществе почв, вод, ледников, в донных осадках морей и океанов содержится примерно на порядок больше энергии, чем в живой массе Земли.

Во всех осадочных породах планеты захоронено, по данным М. И. Будыко и А. Б. Ронина, $11,8 \cdot 10^{21}$ г органического вещества в пересчете на органический углерод.

Существует несколько форм захоронения солнечной энергии в литосфере. Это в первую очередь скопления (месторождения) горючих полезных ископаемых, рассеянное органическое вещество осадочных породах и, наконец, ее захоронение в форме поверхностной энергии частиц и энергии, аккумулярованной в кристаллической решетке. В глинах, по данным С. П. Горшкова, запас энергии может составлять от 21 до 1068 Дж/г.

Крупнейшие кристаллографы Н. В. Белов и В. И. Лебедев рассматривали глины и, в частности каолин, как носители законсервированной солнечной энергии в недрах Земли. Идея о проникновении запасенной солнечной энергии в недра Земли, где она расходуется на процессы метаморфизма и переплавления, т. е. участвует в глубинной жизни планеты, принадлежит В. И. Вернадскому.

В заключение отметим, что энергетическая функция живого вещества выражается следующим образом: транспирация; поддержание низкого альбеда растительным покровом; поддержание низкого альбеда поверхностными планктонными формами; продуцирование парниковых газов; подавление запыленности атмосферы растительностью; фотосинтез; перераспределение с потоками вещества отмершей органики и ее аккумуляция биокосными телами; депонирование органического вещества в различных формах биогеохимической энергии.

Газовая функция. Кислород является продукцией фотосинтеза автотрофных растений. Благодаря этой функции в течение всей геологической истории атмосфера обеспечивалась свободным кислородом, хотя имеются и другие источники кислорода: подводный базальтоидный магматизм, фотодиссоциация воды в атмосфере и ее радиолиз в литосфере. Согласно расчетам В. И. Богатова, кислород современной атмосферы состоит на 30 % из кислорода, возникшего за счет фотосинтеза, и на 70 % — выделившегося из глубины через дно океана.

Использование кислорода в окислительных процессах во многом связано с деятельностью литотрофных микроорганизмов. В биосфере все построено определенным образом. Одни представители живой природы снабжают кислородом воздух и воды, а другие — фоссилизируют его. Это весьма замечательная функция, так как накопление кислорода или его дефицит отрицательным образом сказываются на жизнедеятельности организмов. В случае высокого содержания кислорода в атмосфере, в частности, более оптимального его значения 21 %, резко ускоряются биохимические реакции, что приводит к быстрому старению клеток и способствует высокой горимости растительного покрова. При дефиците кислорода жизнедеятельность животных оказывается подавленной вследствие существенного снижения метаболических реакций.

Огромное влияние живое вещество оказывает на содержание в воздухе углекислого газа. В водах Мирового океана и в водоемах суши, в подземных водах углекислота находится в растворенном виде. В Мировом океане она составляет карбонатную систему. Углекислотный резерв мировой акватории примерно в 60 раз больше, чем атмосферы. Углекислота из вод извлекается организмами, и от их деятельности зависит скорость накопления карбонатного материала.

Исходя из палеогеохимических данных, в течение геологической истории содержание в атмосфере углекислого газа не оставалось стабильным. По результатам исследований М. И. Будыко, А. Б. Ронина и А. Л. Яншина, в раннем карбоне содержание углекислоты в атмосфере по крайней мере было в 10 раз больше, чем в конце доиндустриального периода. Еще больше углекислоты содержала атмосфера в начале фанерозоя и особенно в протерозое.

Хотя воздействие живого вещества на баланс азота в атмосфере не слишком значительно, без него невозможно представить современную атмосферу. Азот является фактором жизнедеятельности для значительной группы микроорганизмов: клубеньковых бактерий, азотобактеров, актиномицетов, синезеленых водорослей. Усваивая молекулярный азот, они после отмирания и минерализации обеспечивают корни высших растений доступными формами этого элемента.

О масштабах вовлечения азота в биологический круговорот можно судить по сведениям, приводимым С. П. Горшковым. Из $2,9 \cdot 10^{21}$ г атмосферного азота (78,084 % объема) ежегодно в современных условиях $6,9 \cdot 10^{18}$ г азота связывается в первичной валовой продукции биоты на суше и $1,2 \cdot 10^{18}$ г — в первичной продукции Мирового океана. Таким образом, ежегодно в планетарной биоте аккумулируется немногим менее 0,0003 % массы азота воздуха, в то время как ежегодно в валовой первичной продукции биоты связывается 13 % углекислого газа атмосферы.

Несмотря на скромные размеры потребления азота, планетарная биота оказывает заметное влияние на баланс газов в атмосфере. На баланс азота влияет не только само живое вещество, но и деструкция органических остатков. В почвах при деструкции растительного опада образуется аммиак, который быстро нитрифицируется микроорганизмами до нитритов и нитратов, а затем происходит обратный процесс, т. е. денитрификация, при котором возникает целый спектр газов, среди которых присутствуют N_2O , NO, N_2 .

Биологический механизм играет главную, но не единственную роль в снабжении атмосферы оксидами азота и возвращении в нее молекулярного азота. Оксиды азота возникают при грозовых разрядах и во время наземных и подземных пожаров.

Деятельность микроорганизмов подпитывает атмосферу водородом и метаном. Некоторая часть их выделяется в атмосферу и

при вулканических извержениях. Водород диссипирует в космическое пространство. Метан продуцируется в анаэробных условиях почвах, илах и торфяниках метанообразующими бактериями, которые для этого используют углекислый газ. Например, на рисовых полях при температуре $30^\circ C$ ежедневно образуется до 0,2 г CH_4 в 100 г почвы в пересчете на сухое вещество.

Огромное количество метана выделяется из мангровых зарослей и животными, перерабатывающими клетчатку. При процессах кишечной ферментации одна овца или коза выделяет в сутки до 5 г метана, а лошадь или корова — 100—200 г. Одними из главных продуцентов этого газа являются термиты.

Ежегодное поступление CH_4 (10^{15} г) из биогенных источников выглядит следующим образом:

Болота, тундра, торфяники, топи, илы	110—150
Рисовые поля	110—120
Термиты	40—50
Домашние животные	100—150
Дикие животные	100—120
Мировой океан и пресные воды	200
Брожение и гниение твердых и жидких отходов	25—100

Метан вместе с другими углеводородами выделяется также из глубинных источников как природного характера (вулканы, гейзеры, фумаролы, разломы), так и природно-антропогенного характера. В последнем случае речь идет о разработке месторождений полезных ископаемых — нефтегазовых, каменноугольных и др. Небиогенные источники дают около 10 % метана от общих выбросов.

Существенно по-иному влияют на газовый состав атмосферы растения. Лесная растительность выполняет необыкновенно важную роль по сохранению высокого качества атмосферного воздуха. Кислород, вырабатываемый ею, отличается от продуцированного планктоном морей и океанов. Первый насыщен ионами отрицательного заряда, благоприятно влияющими на здоровье людей. Леса не только обогащают атмосферу кислородом, но и защищают и частично освобождают ее от пылеватых частиц.

Почвенно-элювиальная функция. Современное почвоведение относит к почвам широкий круг поверхностных образований, начиная от торфяников болот и тучных черноземов до каменистых развалов и песков, находящихся в экстремально жарких или холодных условиях. Однако для перечисленных образований больше подходит термин «кора выветривания». В кору выветривания входят как почвы, так и верхние части подстилающих горных пород, преобразованные в гипергенных условиях. В формировании почвенно-элювиального чехла принимают участие не только физико-химические (физическое и химическое выветривание), но и биохимические процессы. В образовании почвенного покрова и коры вы-

ветривания принимают участие растения, как низшие, так и высшие, и особенно микроорганизмы. Важное значение имеет накопление почвенного гумуса, в котором аккумулируется ряд важнейших питательных веществ. Разложение гумусовых веществ — это длительно протекающий процесс с участием многих видов микроорганизмов.

Одним из конечных продуктов корообразования является глинистое вещество. Оно активизирует микробиологические процессы и способствует образованию гумуса, а кроме того, сохраняет определенную часть солнечной энергии. Наряду с этим глинистые частички являются хорошими адсорбентами, препятствующими вымыванию гумусовых веществ.

Почвенные организмы перераспределяют органическое вещество, вырабатывают более стойкие его модификации, создают фонды минерального питания растений, преобразуют пористую водоёмкую структуру почвы. Особенно большую по масштабам и значению работу проводят дождевые черви. Они непрерывно перерабатывают почву и создают копролиты. Последние представляют собой высокопрочные органо-минеральные агрегаты, сцементированные слизистыми выделениями из стенок кишечника червей и обладающие определенной стойкостью к размыву и дефляции. Особенно копролиты ценны как питательный субстрат, так как содержат в значительных количествах растворимые соединения фосфора, калия, магния.

Геохимические особенности и мощность коры выветривания напрямую связаны с ландшафтно-климатической зональностью. Наиболее мощная ферриаллитная и аллитная кора выветривания (латериты) приурочена к влажным тропикам и возникает на хорошо дренируемых приподнятых массивах. Там, где дренаж ослаблен, формируется сиаллитная каолининовая кора выветривания. Там, где существует ослабленный термический режим, как, например, в умеренном поясе, формируются гидрослюдистые и реже монтмориллонитовые коры выветривания.

В глинистых образованиях коры выветривания в большом количестве присутствуют разнообразные бактерии, жизнедеятельность которых вызывает понижение кислотности циркулирующих вод. Несмотря на то что скорость образования коры выветривания мала и составляет всего 0,02—0,5 мм/год, она играет огромную роль, так как служит местом обитания и работы многочисленных микроорганизмов.

При резком дефиците влаги в жарких пустынях в результате капиллярного поднятия богатых кремнием вод возникает кремнистая аккумулятивная кора — *силькреты*. При несколько лучшем увлажнении в полупустынях и в сухой саванне формируется аккумулятивная карбонатная кора — *каliche*. В аридных и семиаридных условиях часто возникает своеобразная гипсовая кора — *гажа*. В усло-

виях тропического переменного-влажного климата на коре выветривания образуются *кирасы*, представляющие собой алюможелезистую плотную корку.

Отсутствие промывного режима, низкое содержание в подземных водах биогенных веществ, а также высокая их минерализация служат непреодолимым барьером для развития процессов корообразования.

С переходом из областей с жарким климатом в умеренный и далее в холодный пояс наблюдаются сокращение масштабов биогеохимического выветривания и наращивание интенсивности физического типа выветривания.

Почвенно-элювиальный чехол находится в непрерывном развитии. Он то разрушается, то возобновляется. Процессы размыва наблюдаются в тех районах, где поверхность слабо защищена растительностью. Однако там, где почвенно-элювиальный чехол покрыт растительностью, он хорошо предохраняется от размыва и от воздействия температурного фактора. В этих условиях в случае достаточно высокой увлажнённости могут выноситься растворенные соединения, т. е. осуществляться биогеохимическая денудация.

Таким образом, в создании почвенно-элювиального чехла большая роль принадлежит биосу. Биогеохимическим путем создается основная масса глинистого вещества, которое преобладает среди всех существующих осадочных пород. В этом чехле происходят связывание в осадочном материале солнечной энергии и дифференциация некоторых важнейших элементов литосферы. С геохимическим потоком выносятся K, Na, Mg, Ca, Fe, Mn и происходит остаточное накопление Al, Si, O, H в коре выветривания. И кроме того, почвенно-элювиальный чехол является важнейшим резервуаром и восстановителем качества как поверхностных и грунтовых, так и подземных вод.

Водоочистная функция. Живое вещество прямо или косвенно участвует в воссоздании водных ресурсов. Деятельность организмов-гидробионтов, называемая биофильтрацией, имеет планетарное значение. По данным А. П. Лисицына, океанский зоопланктон отфильтровывает в течение года от взвесей 18 млн км³ воды. Несколько иные сведения даёт А. В. Лапо: весь Мировой океан профильтровывается зоопланктоном всего за полгода.

Биофильтрация построена следующим образом. Зоопланктон фильтрует верхний слой воды до глубины 500 м. Проходя через пищевой канал биофильтратора, взвесь связывается в pellets — пищевые комки, которые вследствие своей большей массы и размеров осаждаются на дно. Однако, прежде чем дойти до дна, pellets повторно и многократно используются в качестве пищи более глубоководными организмами, в том числе и активно плавающими (нектоном). В осадении тонкого материала на дно морей и океанов большую роль играют не только процессы биофильтра-

ции, но и коагуляции глинистых частиц при изменении рН среды, а это происходит при смешивании речных и океанских вод.

Организмами очищаются от различных примесей как подземные, так и поверхностные воды суши. Большую роль в очистке воды озера Байкал играет режим работы рачка эпишуры, который профильтровывает воду. Гидрологами было отмечено, что в формировании мутности рек решающую роль играет состояние растительного покрова в их бассейне, а не почвенно-геологические и геоморфологические условия. Роль растительного покрова в этом случае состоит не только в чисто буферной функции, которая гасит ударную силу дождевых капель и блокирует размывающий эффект растекающихся мелких струй, а в том, что значительная часть поверхностного стока благодаря растительности переводится в подземный.

Вода, прошедшая через растительный покров, особенно лесной, отфильтровывается. В ней уменьшаются мутность, цветность, увеличивается прозрачность, улучшаются вкус и запах, уменьшается содержание нитратного и аммиачного азота, существенно сокращается число бактерий. Лесные насаждения очищают поверхностные воды от пестицидов. Наибольшим очистным эффектом обладают сосновые и кленово-липовые ассоциации.

Водорегулирующая функция. В природе система «растительный покров — почва — подпочвенный грунт» представляет собой единый емкий резервуар влаги. Из этого коллектора идет подпитка ручьев и речек, крупных рек, мелких и крупных водоемов. Вследствие этого на реках лесных территорий паводки обычно ниже и случаются реже, чем на безлесных территориях. В сухие сезоны реки лесной зоны полноводнее. Также высок и речной сток с залесенной территории, несмотря на более высокую степень транспирации по сравнению с безлесными районами.

Лесная и луговая растительность выступает в роли природного насоса. Высокая залесенность — надежная гарантия регулярного водоснабжения в вегетационный период.

Концентрационная функция. Под этой функцией В. И. Вернадский подразумевал способность организмов к избирательному выбору из окружающей среды определенных химических элементов, в результате чего некоторые из них накапливаются в самих организмах.

Элементы концентрируются в связи с физиологическими потребностями организмов или вследствие сильного роста содержания какого-либо вещества в окружающей среде. Второй механизм играет значительную роль в жизнедеятельности людей. Организмы очищают окружающую среду, извлекая из нее загрязняющие вещества. Например, растения поглощают из атмосферы такие загрязняющие газы, как фтористый водород, хлор, диоксид азота, озон, оксид и диоксид углерода, существенно снижают содержание диоксида серы в воздухе.

Другим примером, который приводит в своей работе С. П. Гориков, является создание известкового скелета многими беспозвоночными. В таких организмах содержание кальция и диоксида углерода оказывается существенно большим, чем в окружающей среде.

Способность извлекать различные химические элементы и их соединения из растворов, а затем накапливать их в биомассе в концентрированной форме — одно из важнейших свойств живого вещества. Организмы заимствуют из водной среды углекислые соли кальция, магния, стронция, кремнезем, фосфаты, йод, фтор.

Выделения в организмах минеральной составляющей называют биоминералами. Например, в хвое деревьев содержатся тонкие, размером в микроны, частички кремнезема. В клетках некоторых бактерий присутствует сера. Коралловые постройки сложены кальцитом. В раковинах головоногих и двусторчатых моллюсков кроме кальцита присутствуют тонкие пластинки кристаллического арагонита.

В продуктах жизнедеятельности некоторых видов организмов содержание химических элементов во много раз превышает их содержание в окружающей среде: марганца — в 1 200 000 раз, железа — в 650 000 раз, ванадия — в 420 000 раз, серебра — в 240 000 раз.

Все химические элементы по их значению для микроорганизмов делятся на три группы: 1) существенные для питания и жизни клеток (Mg, K, P, Mn, Zn, S и др.); 2) не существенные, но используемые в функциях клеток (Ca, Na, Cl и др.); 3) токсичные (Hg, As, Cd, Pb, Ag, Be, B и др.).

Существуют группы бактерий, которые извлекают из горных пород определенные химические элементы, тем самым как бы играя роль обогатителей. Таковыми являются бактерии, извлекающие из горных пород железо, золото, серебро и другие элементы.

Организмы, обладающие способностью очищать окружающую среду от токсичных веществ и концентрировать их в себе, могут стать для человека источниками токсичных веществ. Это происходит при передаче по ступенькам трофической цепи поллютантов, когда их концентрация в биомассе быстро нарастает. Увеличение содержания загрязняющего вещества в каком-либо звене этой цепи по сравнению с концентрацией в окружающей среде называется *коэффициентом накопления*. Например, коэффициент накопления ДДТ для фитопланктона может достигать 8000, для планктонных рыб — 40 200, для хищных рыб — 134 500, для чаек — 2 500 000. Это означает, что при содержании ДДТ в воде 0,02 мг/л в тканях хищных рыб его становится 2,7 г на килограмм живой массы.

Транспортная функция. В течение определенных сезонов организмы совершают различные по дальности миграции. В таких миграциях участвуют огромные объемы живого вещества. Одновременно они совершают важный биогеохимический процесс, перенося ог-

ромные объемы химических соединений и элементов из одного региона в другой. И такой перенос редко совпадает с перемещениями воздушных масс.

Организмы играют двоякую роль в переносе химических элементов. Одна из них — активная, называемая анадромным переносом. Оказывается, что масса переноса микроэлементов мошкой и комарами, перелетающими с низинных участков леса на возвышенности, вполне сопоставима с массой переноса микроэлементов в результате стока поверхностными водами.

Другая — пассивное перемещение биомассы, осуществляемое потоками воздуха, поверхностными и грунтовыми водами. Воздушным путем переносятся многие семена. Ветрами переносятся шароподобные массы сухой травы на многие километры. Крупные потоки биогенных веществ возникают при ветровом разносе пылицы. Большие массы отмершего органического вещества в виде опада и травы, переносимые ветрами, скапливаются в руслах рек, в каналах и в дальнейшем транспортируются речным стоком.

Деструктивная функция. Биогенная деструкция — это способность организмов к разложению вещества в процессе своей жизнедеятельности. Эта функция подробно рассматривалась в качестве составляющей при характеристике газовой функции, при формировании коры выветривания.

Деструктивная функция организмов играет негативную роль в жизнедеятельности людей. Деструктивные организмы могут принести большой экономический ущерб. Например, литофильные микроорганизмы способны разрушать каменные стены и бетонные сооружения; микроорганизмы, питающиеся железом, разрушают железные сваи и мосты. Там, где в грунтовых водах содержатся соединения аммония, деятельность нитрифицирующих бактерий может привести к разрушению стен и фундамента сооружений. Там, где в воду из донных осадков поступает сероводород, тионовые бактерии, окисляя его, вырабатывают серную кислоту, которая разрушает подводные части конструкций из железобетона.

9.3. Биологическое разнообразие и биоиндикация

Общее число организмов, населяющих Землю, весьма велико. Считается, что на Земле существуют одновременно от 5 до 80 млн видов организмов. Значительную часть из них составляют насекомые, бактерии и вирусы. Более или менее четкая таксономическая принадлежность установлена всего для 1,5 млн видов. Из этого числа около 750 000 составляют насекомые, 41 000 — позвоночные и около 25 000 — растения. Остальные виды представлены сложным набором беспозвоночных, грибов, водорослей и микроорганизмов.

Различные ландшафтно-климатические области отличаются одна от другой не только качественным составом, но и числом видов. Биологическое разнообразие меняется от полюса к экватору. Число пресноводных моллюсков в тропических экосистемах почти в 5 раз выше, чем в умеренном климате. Во влажных тропических лесах, например в Амазонии, на одном гектаре встречается до 100 видов деревьев, в то время как в аридных областях тропиков их число не превышает 30.

В морской среде наблюдается такая же закономерность. Так, число видов асцидий в Арктике едва превышает 100, а в тропиках достигает 600. Биоразнообразие — основа жизни на Земле и составляет важнейший жизненный ресурс. Люди используют в пищу около 7000 видов растений, но около 90 % мирового продовольствия создается за счет всего 20 видов, из которых пшеница, рожь, кукуруза и рис покрывают около половины всех потребностей. Биологические ресурсы — важный источник сырья для промышленности, в том числе и для медицинской.

В последние десятилетия человечество осознало важность и полезность диких растений и животных. Многие из них не только содействуют развитию сельского хозяйства, используются в медицине и промышленности, но и полезны для окружающей среды, составляя основу природных экосистем. Биоразнообразие считается главным фактором, определяющим устойчивость биогеохимических циклов вещества и энергии в биосфере. Велика роль организмов, которые напрямую используются человеком в пищу, а также животных фильтраторов и детритофагов, которые вносят существенный вклад в круговорот биогенных элементов. И следовательно, среди огромного разнообразия организмов существуют группы, которые приносят пользу косвенным путем. Многие организмы на заре развития Земли внесли огромный вклад в становление и развитие атмосферы и климата Земли, например синезеленые водоросли. Деятельность целого ряда животных и растений до сих пор является мощным стабилизирующим фактором в отношении климата.

Итак, под биоразнообразием понимают все виды организмов, которые являются составляющей частью экологических систем и экологических процессов.

Биоразнообразие может рассматриваться на трех уровнях: генетическом, видовом и экосистемном. Генетическое разнообразие представляет собой особый вид генетической информации, содержащейся в генах организмов, которые обитают на Земле. Видовое разнообразие — это разнообразие видов живых организмов, населяющих Землю. Разнообразие экосистем касается различных сред обитания, биотических сообществ и экологических процессов в биосфере.

Целый ряд органических сообществ, групп видов и отдельные виды определенным образом реагируют на различные антропо-

генные нагрузки. Степень реагирования живых экосистем на антропогенную нагрузку носит название *биоиндикации*. Функции индикатора выполняют тот вид, особь или группы особей, которые имеют узкую амплитуду экологической толерантности по отношению к какому-либо фактору.

Индикация экологических условий проводится на основе оценки состояния видового разнообразия, которая отражает их способность накапливать химические элементы и соединения, поступающие из окружающей среды. Причем при растущей загрязненности мест обитания одни виды растений и животных могут исчезать из биоценоза (майский жук, лишайники в промышленно развитых областях) или, наоборот, увеличивать свою численность (синезеленые водоросли).

Биоиндикация — составная часть экологического мониторинга (от лат. «монитор» — напоминающий, надзирающий), который является системой наблюдения и контроля за состоянием окружающей среды на определенной территории. Это осуществляется в целях рационального использования природных ресурсов и охраны природы.

Экологический мониторинг основывается на определении содержания загрязняющих веществ в воздушной, водной или почвенной среде. Составная часть экологического мониторинга — биологический, тест-объектами которого служат живые организмы и их сообщества.

Рост загрязняющих веществ в воздушной, водной и геологических средах может быть как природным фактором, так и обусловленным антропогенной деятельностью.

В воздушной и водной средах загрязняющие вещества вызывают закупорку и разъедание газами тканей и органов дыхания животных и растений. Неблагоприятные факторы среды приводят к нарушению формообразовательных процессов, угнетению роста, цветения и плодоношения у растений. Но степень восприимчивости растений и животных к загрязнению окружающей среды зависит от видовой принадлежности.

Считается, что биоиндикация более точно отражает экологическую ситуацию, чем непосредственные инструментальные наблюдения и измерения.

Растения часто используют в качестве тест-индикаторов загрязнения окружающей среды, особенно при выбросах веществ, содержащих серу и тяжелые металлы, которые начинают накапливаться в ассимиляционных органах. В зависимости от технологических процессов на промышленных предприятиях, от которых зависит химический состав аэрозольных и газовых выбросов в воздушный бассейн, используют различные виды растений и применяют разнообразные методы исследований — от экспериментов в специальных камерах с заданным составом воздуха до тонких фи-

зико-химических методов анализа. Важным является и определение химического состава коры хвойных деревьев, которая поглощает примеси и пыль, находящиеся в атмосферном воздухе.

В наибольшей степени чувствительны к атмосферному загрязнению низшие растения, в частности лишайники. Их использование в экологическом мониторинге носит название *лихеноиндикации*. Чувствительность низших растений к антропогенным выбросам известна с середины XIX в., но их стали использовать в качестве биоиндикаторов только со второй половины XX в. Исследования, проведенные в Канаде, Великобритании и Скандинавских странах, показали прямую связь состояния лишайников и степень концентрации в них загрязняющих веществ, в частности тяжелых металлов и диоксидов серы с уровнем загрязненности воздушной среды. Среди лишайников встречаются виды с разной чувствительностью к атмосферному загрязнению, но большинство видов отличается высоким уровнем чувствительности, в сотни раз превышающим чувствительность животных и людей.

Исходя из уровня загрязнения воздушной среды, установленного по различным видам лишайников, составляют специальные карты, на которых показывают разную степень загрязненности воздуха. Нередко на таких картах, построенных для территорий с высоким уровнем развития промышленности, отражают территории, полностью лишённые лишайниковой растительности: некоторые районы Кольского полуострова, Норильска и т.д.

Биоиндикационные исследования в системе экологического мониторинга позволяют проследить пространственное распределение многих вредных для здоровья населения и природной среды веществ на фоне общего загрязнения территории в целом. Полученные значения концентрации тех или иных веществ в конкретных экосистемах могут быть использованы в моделировании и прогнозировании загрязнения и в оценке его экологических последствий при глобальном, региональном и локальном уровнях поступления вредных веществ в окружающую среду.

Индикаторами загрязнения водной среды могут служить как водоросли и макрофиты, так и отдельные животные, в частности рачки, раки, креветки, крабы. Эвтрофикация воды в результате интенсивного размножения синезеленых и зеленых водорослей является следствием поступления в водоемы большого объема биогенных веществ и служит характерным предупреждением начавшегося загрязнения водоема.

Вместе с тем водные и наземные растения обладают уникальной фильтрующей способностью. Они поглощают из воздуха и нейтрализуют в тканях значительное количество вредных компонентов, поступающих в воздушный бассейн от теплоэнергетических объектов, промышленных предприятий, транспорта и сельского хозяйства. В водной среде растения выполняют средообразующие

функции. Среди них важными являются фильтрационная функция, с помощью которой задерживаются и осаждаются различные механические примеси, осуществляются переработка и усвоение органических веществ; поглотительно-накопительная, когда происходит накопление минеральных соединений, в том числе и радиогенных, и детоксикационная, благодаря которой некоторые виды водных растений в процессе своей жизнедеятельности осуществляют детоксикацию вредных загрязнителей, тем или иным путем поступающих в водоемы.

9.4. Кружовороты веществ в биосфере

Биосферный и биологический кружовороты. Все вещества на нашей планете находятся в состоянии постоянного кружоворота. Солнечная энергия вызывает на Земле два кружоворота веществ: один, большой, охватывающий всю биосферу, называется биосферным, а другой — малый — протекает внутри экосистемы и называется биологическим.

Биосферному кружовороту предшествует геологический, который обуславливает разрушение, миграцию и аккумуляцию химических соединений и веществ. В такой миграции ведущая роль принадлежит солнечной энергии, от которой зависят скорость и масштабность развития экзогенных процессов. В них главенствующая роль принадлежит гравитационным и особенно термическим свойствам поверхности суши и водной оболочки, которые поглощают и отражают солнечные лучи, обладают теплопроводностью и теплоемкостью. Неустойчивый гидротермический режим Земли вместе с планетарной системой циркуляции атмосферы обуславливает геологический кружоворот веществ, который вместе с эндогенными процессами — спредингом, субдукцией, вулканизмом, тектоническими движениями — вызывает формирование и развитие океанов и континентов. Продукты выветривания транспортируются воздушными массами и водными потоками. С появлением биосферы в большой кружоворот веществ включились продукты жизнедеятельности организмов, и, таким образом, геологический кружоворот приобрел совершенно новые черты. Он становится поставщиком живым организмам питательных веществ, во многом определяет условия их существования и при этом наряду с механической и химической дифференциацией и аккумуляцией вещества стала осуществляться биологическая дезинтеграция и биологическая аккумуляция вещества.

Большой кружоворот веществ в биосфере характеризуется двумя важными особенностями. Во-первых, он осуществляется на протяжении всей истории существования биосферы, т. е. начиная по крайней мере с 3,8—4,0 млрд лет назад. Во-вторых, он пред-

ставляет собой современный планетарный процесс, играющий важную роль в дальнейшем существовании и развитии биосферы.

Переменяющееся в геологическом кружовороте неорганическое вещество является своеобразным резервным фондом для биологической ветви биосферного кружоворота. Этот резервный фонд сосредоточен в атмосфере в виде газов и термодинамически активных веществ, в воде — в виде растворенных химических элементов и их соединений, в литосфере — в виде минеральных и органических веществ, часть из которых находится в верхних горизонтах и почвах. С атмосферой и гидросферой связан в основном транзитный цикл кружоворота, а с литосферой и частично с гидросферой — аккумулятивный, или осадочный.

Малый, или биологический, кружоворот веществ развивается на фоне геологического, охватывающего всю биосферу. Хотя он происходит внутри отдельных экосистем, он не замкнут, а это вызвано тем, что в экосистему вещество и энергия поступают извне.

Растения, животные и почвенный покров на суше образуют сложную глобальную систему, которая формирует биомассу, связывает и перераспределяет солнечную энергию, углерод атмосферы, влагу, кислород, водород, азот, фосфор, серу, кальций и другие элементы, участвующие в жизнедеятельности организмов, которые называются биогенными элементами. Растения, животные и микроорганизмы водной среды, которые выполняют ту же функцию связывания и перераспределения солнечной энергии и биологического кружоворота веществ, образуют другую глобальную систему.

Особенность биологического кружоворота заключается в течении трех противоположных, но взаимосвязанных процессов: формирование органического вещества, его разрушение и перераспределение. Начальный этап возникновения органического вещества обуславлен жизнедеятельностью продуцентов и связан с фотосинтезом растений, т. е. с образованием органического вещества из углекислого газа, воды и простых минеральных веществ с использованием солнечной энергии. Растения извлекают из почвы в растворенном виде серу, фосфор, кальций, калий, магний, марганец, кремний, алюминий, медь, цинк и другие жизненно необходимые элементы и микроэлементы. Консументы первого порядка, т. е. растительноядные животные, поглощают созданное органическое вещество и вместе с пищей растительного происхождения усваивают необходимые для жизнедеятельности биогенные элементы. Консументы второго порядка — хищники — питаются растительноядными животными и таким образом употребляют в пищу органические вещества более сложного состава, включая белки, жиры, аминокислоты, а вместе с ними также необходимые для последующей жизнедеятельности микроэлементы.

В процессе разрушения микроорганизмами органического вещества растительного или животного происхождения в почву и водную среду поступают простые минеральные соединения, доступные для усвоения растениями. Таким образом, начинается новый цикл биологического круговорота.

В отличие от большого малый круговорот имеет несомненно меньшую, но неодинаковую продолжительность. Различают сезонные, годовые, многолетние и вековые малые круговороты. При рассмотрении биологического круговорота веществ основное внимание уделяют годовому ритму, определяемому годичной динамикой развития растительного покрова.

Обмен веществом и энергией, осуществляющийся между различными структурными частями биосферы и определяющийся жизнедеятельностью микроорганизмов, называется *биогеохимическим циклом*. Это понятие ввел в мировую науку В. И. Вернадский, и только после этого перестало существовать представление о круговороте веществ как о замкнутой системе. Все биогеохимические циклы составляют современную динамическую основу существования жизни. Они взаимосвязаны между собой, и в то же время каждый из них играет свою неповторимую роль в эволюции биосферы.

Отдельные циклические процессы вместе с тем не являются полностью обратимыми. Одна часть элементов и соединений в процессе миграции и превращения рассеивается или связывается в новых системах и, следовательно, выпадает из круговорота. Другая часть веществ способна возвратиться в круговорот, но довольно часто он приобретает новые качества, и при этом изменяется количественный состав веществ, участвующих в круговороте. Часть веществ вследствие геологических процессов, в частности субдукции, может извлекаться из круговорота и, перемещаясь в нижние горизонты литосферы, видоизменяться, а часть, в основном в газообразном состоянии, — удаляться из атмосферы в космическое пространство.

Продолжительность круговоротов тех или иных веществ в разных системах чрезвычайно различна. Установлено, что полный оборот углекислого газа в атмосфере через фотосинтез составляет около 300 лет, кислорода атмосферы и тоже через фотосинтез — 2000—2500 лет, азота атмосферы через биологическую фиксацию и фотохимическим путем — примерно 100 млн лет, а воды через испарение — около 1 млн лет.

В биосферном и биологическом круговоротах участвует огромное количество химических элементов и соединений, но важнейшими из них являются те, которые определяют современный этап развития биосферы, связанный с хозяйственной деятельностью человека. К ним относятся круговороты углерода, серы, азота и фосфора. Оксиды первых трех являются главными загрязнителями

атмосферы, а фосфаты — загрязнителями водных бассейнов. Большое значение имеет знание круговоротов ряда токсичных элементов и, в частности, ртути (загрязнитель пищевых продуктов) и свинца (компонент бензина, который выступает как загрязнитель почвы и атмосферы). В круговороты вовлекаются многие вещества антропогенного происхождения (ДДТ, пестициды, радионуклиды и др.), которые наносят вред биоте и здоровью человека.

Круговорот углерода. Этот круговорот — один из важнейших круговоротов веществ в биосфере (рис. 9.1). Изменения глобального масштаба круговорота углерода, вызванные антропогенной деятельностью, приводят к неблагоприятным для биосферы последствиям. С процессом круговорота углерода напрямую связаны содержание кислорода в атмосфере и его круговорот в биосфере, изменения климата и погодных условий на земной поверхности и т. д.

Углерод участвует в большом и малом круговоротах вещества. Его соединения в биосфере постоянно возникают, испытывают превращения и разлагаются. Основной путь миграции углерода — от углекислого газа в атмосфере в живое вещество и из живого вещества в атмосферную углекислоту. При этом часть углерода выходит из круговорота, растворяясь в гидросфере и осаждаясь в форме карбонатных пород, а часть остается в почве.

В биологическом круговороте углерода выделяют три стадии. На первой стадии зеленые растения поглощают углекислый газ из воздуха, создают органическое вещество, главной составной частью которого является углерод. В дальнейшем животные, питаясь растениями, из содержащихся в органическом веществе соедине-

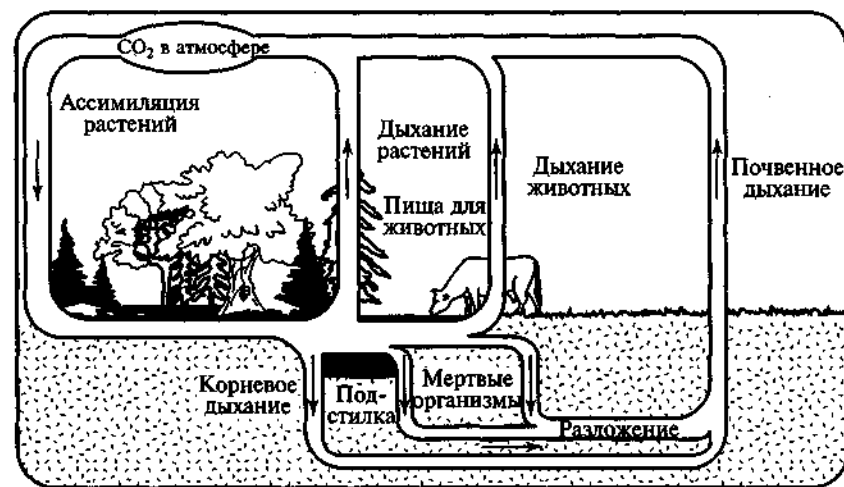


Рис. 9.1. Биологический круговорот углерода

ний, в том числе соединений углерода, продуцируют другие соединения. На конечной стадии после отмирания организмов растительного или животного происхождения их мертвые ткани разрушаются микроорганизмами, которые освобождают углерод. Он снова попадает в атмосферу в форме углекислого газа. Кроме того, источником углерода является углекислый газ, поступающий в атмосферу при дыхании растений в темное время суток, выделяемый при дыхании животных и человека, а также поступающий в атмосферу в результате вулканических извержений и при выветривании горных пород, содержащих углерод в связанном виде.

Часть углерода накапливается в виде омертвевших органических веществ и там, где отсутствуют условия для их разложения, т. е. в восстановительных условиях. В этом случае органический углерод переходит в ископаемое состояние и накапливается в виде торфа, нефти и газа и в дальнейшем перерабатывается в каменный уголь и горючие сланцы, а при метаморфизме переходит в графит.

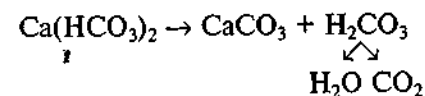
Рассматривая глобальное преобразование органического углерода и интенсивное его захоронение в болотах, пойменно-старичных условиях, лагунах, манграх, морских бассейнах и пресноводных водоемах, надо признать, что данный процесс осуществлялся на Земле в период всей биологической эволюции биосферы, причем этот процесс в течение длительного геологического времени протекал с большой интенсивностью, но с различной скоростью. В геологическом прошлом, когда существовала ландшафтно-климатическая обстановка, благоприятствующая развитию растительного покрова, а в атмосфере концентрация углекислого газа почти на порядок превышала современную, избыток органического углерода захоронялся в недрах Земли, образуя месторождения полезных ископаемых. Общая масса углерода, которая захоронена в форме горючих полезных ископаемых, оценивается более чем в 100 000 трлн т.

Современная растительность, включая водоросли, ежегодно продуцирует около 1,5 трлн т углерода. Согласно расчетам М. И. Будыко, весь запас углекислого газа в атмосфере, если бы он не возобновлялся, был бы исчерпан растениями за восемь лет.

Кроме биосферы углекислый газ продуцируется косными системами; в частности вулканическими извержениями. Весьма существенным источником и потребителем углекислоты выступают водные массы гидросферы. Углекислый газ представлен в ней в виде разбавленных растворов угольной кислоты и главным образом в форме гидрокарбонатов металлов. Существует глобальный обмен между атмосферой и гидросферой не только энергией, но и веществом в форме газов. Повышение концентрации и парциального давления CO_2 в атмосфере, региональное или сезонное охлаждение вод — все это сопровождается немедленным увеличением концентрации углекислого газа в воде и растворов гидрокарбо-

ната кальция. Необходимые количества углекислоты изымаются из атмосферы.

Известно, что многие гидробионты, поглощая углекислый кальций, строят свои скелеты, а после смерти формируют донные известковые отложения, в дальнейшем преобразуемые в процессе литогенеза в толщи органогенных известняков. Осаждаясь, карбонат кальция связывает часть углекислого газа в форме известковых осадков на дне Мирового океана и пресноводных водоемов, но при этом часть углекислоты вновь возвращается в атмосферу:



Между атмосферным углекислым газом и углекислым газом, растворенным в Мировом океане, существует равновесие. Уменьшение углекислого газа в атмосфере неизбежно вызывает дегазацию вод океана и приводит к поступлению углекислого газа в атмосферу. В качестве нарушителя равновесного процесса нередко выступает температурный фактор.

Постоянно действующим фактором поглощения углекислого газа из атмосферы, а также газов, растворенных в водной среде, выступает фотосинтез в гидросфере. Причем этот процесс протекает с соответствующим освобождением кислорода.

Таким образом, Мировой океан и атмосфера представляют собой единую систему, которая регулирует взаимное распределение диоксида углерода. Ряд исследователей считают, что в современную эпоху, несмотря на повышение концентрации углекислого газа в атмосфере, Мировой океан продолжает эффективно выполнять функцию захвата и связывания избыточного количества углекислого газа, переводя его в растворимые бикарбонаты и осажая в виде карбоната кальция, а также путем образования биомассы живого вещества с карбонатным скелетом.

Круговорот углерода продолжает контролировать содержание кислорода в атмосфере. При этом общую массу кислорода М. И. Будыко и А. Б. Ронов оценивают в $1,2 \cdot 10^6$ млрд т. Общепланетарный расход кислорода на сжигание органического топлива составляет около 15 млрд т ежегодно. Это почти на порядок меньше, чем ежегодное поступление в атмосферу кислорода, освобожденного при фотосинтезе (140—200 млрд т). Выделяемый кислород почти полностью используется при дыхании организмов и минерализации отмершей органической массы, а также частично консервируется в литосфере в виде оксидов металлов и соединений.

На сжигание минерального топлива используется кислород, уже накопленный атмосферой, и ежегодное его уменьшение составляет примерно одну десятитысячную часть его массы в атмосфере. Полное сжигание углеродного топлива уменьшает содержание кис-

лорода в атмосфере только на доли процента. Значительные изменения массы кислорода могут проявиться за очень длительные промежутки времени, исчисляемые миллионами лет. Исходя из этого считают, что наибольшую опасность для биосферы представляет нарушение круговорота углерода.

В современную эпоху, в отличие от прошлых геологических периодов, поток углерода в атмосферу увеличился за счет антропогенных выбросов, а растительность полностью его усвоить оказалась не в состоянии. Вследствие этого снизилось самоочищение атмосферы от оксида углерода, т. е. от угарного газа.

Самоочищение воздуха от оксида углерода происходит в результате миграции CO в верхние слои атмосферы, где в присутствии диоксида азота и озона он окисляется до CO₂. Установлено, что если бы прекратилось постоянное поступление в атмосферу техногенного оксида углерода, то она бы очистилась от него в течение нескольких лет.

Круговорот азота. Азот, как и углерод, участвует в большом и малом круговоротах (рис. 9.2). Источником азота в биологическом круговороте являются нитраты и нитриты, которые поглощаются растениями из почвы и воды. У растений отсутствует возможность извлекать азот непосредственно из атмосферы. Растительные животные создают из аминокислот растительных белков протоплазму своих клеток. Гнилостные бактерии переводят соединения азота в отмерших остатках растений и животных в аммиак. Затем нитрифицирующие бактерии превращают аммиак в нитриты и нитраты. Часть азота благодаря денитрифицирующимся бактериям вновь поступает в атмосферу. Если бы отсутствовал дополнительный источник пополнения запасов азота в почве, то произошло бы азотное голодание растений и как следствие — разрушение биосферы, так как в процессе денитрификации свободный азот выводится из биологического цикла.

Существуют два пути вовлечения азота атмосферы в биологический круговорот. Один из них связан с атмосферными осадками, а второй — с биологической фиксацией азота прокариотными организмами.

В результате вулканических извержений, а также происходящих фотохимических реакций и возникающего при грозовых разрядах и ионизации электрического окисления азота в атмосфере всегда присутствуют оксиды азота, которые вместе с атмосферными осадками попадают в почвенные слои. Кроме того, в атмосферном воздухе всегда содержится аммиак. В нормальном состоянии он составляет 0,02—0,04 мг/м³, но его количество возрастает при грозовых разрядах. Подсчитано, что суммарное поступление азота в почву таким путем составляет 10—15 кг/га.

Биологическая фиксация азота связана с деятельностью прокариот. Они способны превращать биологически бесполезный газо-

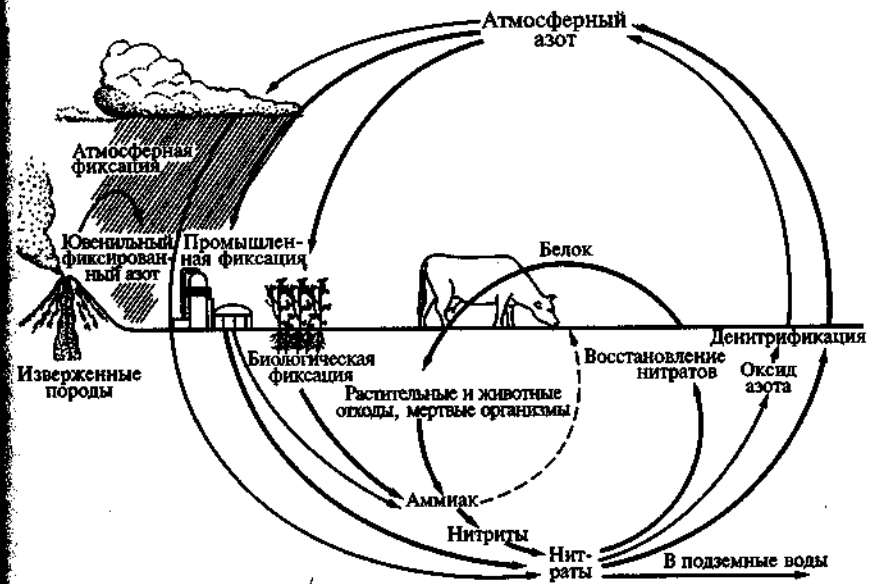


Рис. 9.2. Круговорот азота в биосфере

образный азот в соединения, необходимые для корневого питания растений. Фиксация азота требует больших затрат энергии, которая расходуется в основном на разрыв тройной связи в молекуле азота, чтобы затем с добавлением водорода из воды превратить ее в две молекулы аммиака.

Азот фиксируется свободно живущими аэробными (*Asotobacter*) и анаэробными (*Clostridium*) бактериями, некоторыми синезелеными водорослями (*Anabaena*, *Nostoc*), симбиотическими клубеньковыми бактериями бобовых растений (*Rhizobium*) и другими микроорганизмами. Особенно активны клубеньковые бактерии бобовых культур. Общее количество азота, фиксированного ими, может достигать 350 кг/га, а это в 100 раз выше показателя у свободно живущих азотфиксирующих организмов.

Основная часть фиксированного азота почвы поглощается растениями, но часть его соединений выносится в реки и поступает в водоемы, в том числе в моря. Больше всего солей аммония, нитратов и нитритов находится в водах устьев рек и у берегов морей, в глубинных частях водоемов суши, куда они поступают в процессе гниения органического вещества. Находящийся в поверхностных водах азот потребляется растительными микроорганизмами. Потеря азота непрерывно восполняется поступлением его с суши, в результате постоянного перемешивания вод, выпадения аммиака из атмосферы и разложения остатков растений и животных в поверхностных частях водоемов.

Антропогенные нарушения круговорота азота в биосфере связаны со сжиганием минерального топлива в наземном и воздушном транспорте, на тепловых электростанциях и с производством азотных удобрений. Поступление в атмосферу азота антропогенного происхождения в 70-е годы XX в. было в 15 раз, а в 80-е годы — в 12 раз меньше, чем от естественных источников. Однако в связи с развитием промышленности и транспорта количество техногенного азота в атмосфере имеет тенденцию к увеличению.

При сжигании топлива в атмосферу поступает дополнительное количество оксидов азота, которые участвуют в фотохимических реакциях. Одна из таких реакций приводит к возникновению фотохимического смога, содержащего формальдегид и другие токсичные компоненты.

Загрязнение стратосферы оксидами азотами в результате полетов самолетов, космических и простых ракет нарушает естественный круговорот азота и приводит к нарастающему разрушению озонового экрана. В тропосфере оксиды азота, контактируя с парами воды, образуют аэрозоли азотной кислоты, которая вместе с аэрозолями серной кислоты выпадает в форме кислотных дождей.

Существенные изменения в круговорот азота вносят производство и применение азотных удобрений. В XX в. химический синтез азотных удобрений на основе связывания азота атмосферы стал главным источником питания культурных растений. В мире ежегодно вносится свыше 40 млн т азота в виде минеральных удобрений. Кроме того, в почвенный покров и водные системы поступает трудно учитываемое количество азота с животноводческих комплексов и фермерских хозяйств.

Круговорот фосфора. Биологическое значение фосфора в жизнедеятельности организмов исключительно велико. Его соединения входят в состав нуклеиновых кислот, клеточных мембран, систем переноса энергии, в состав мозга и костной ткани. Содержание фосфора в тканях растений составляет 250—350, морских животных — 400—1800, наземных животных — 170—4400, бактерий — около 3000 мг на 100 г сухого вещества. Как и углерод, фосфор участвует в биологическом и геологическом круговороте вещества (рис. 9.3).

Резервуаром фосфора в биологическом круговороте служит литосфера, в частности фосфорсодержащие горные породы, какими являются фосфориты, апатиты, нефелиновые сиениты. В процессе выветривания соединения фосфора попадают в почвенный покров, выносятся поверхностными водами в конечные бассейны стока, где они или медленно оседают на дно и литифицируются, или рассеиваются глубинными водами.

Из почвы фосфор извлекается растениями в виде растворимых фосфатов, которые поглощаются с почвенными растворами и превращаются в ионы PO_4^{2-} . Скорость усвоения растениями фосфора

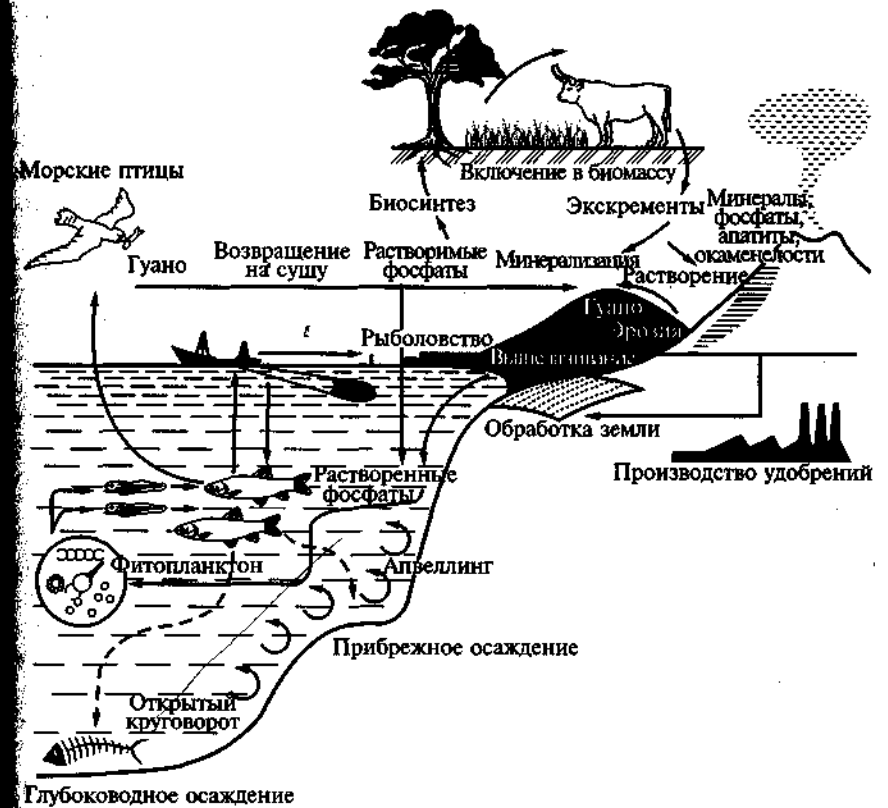


Рис. 9.3. Круговорот фосфора

зависит от кислотности почвенного раствора. В щелочной среде фосфаты кальция и натрия практически нерастворимы, а в нейтральной — малорастворимы. По мере повышения кислотности они превращаются в хорошо растворимую фосфорную кислоту. Находящийся в растительности фосфор переходит к животным, потребляющим растительную пищу.

Органический фосфор, находящийся в растительном опаде, отмерших растительных и животных остатках в результате бактериальных преобразований в почве, трансформируется в фосфаты. Воздействующие на них фосфаторазрушающие бактерии продолжают биологический круговорот фосфора, переводя его в растворимую форму, которая, попадая в водную среду, принимает участие в геологическом круговороте.

Круговорот фосфора в биосфере не замкнут, так как часть его поступает в литосферу. Лишь небольшое количество фосфора безвозвратно теряется при геологических процессах, а часть — аккумулируется вместе с осадками. С речными стоками, согласно сде-

ланным подсчетам, в Мировой океан поступает ежегодно около 3—4 млн т фосфора, который исключается из круговорота.

В морях и океанах фосфор концентрируется в виде фосфатных конкреций, которые в процессе седиментогенеза с течением времени превращаются в фосфориты. В зоне апвеллинга, когда происходит подъем глубинных вод, фосфор вместе с другими биогенными элементами и питательными веществами выносятся на поверхность и поэтому зоны апвеллинга необычайно богаты организмами.

В почве и природных водах фосфор всегда находится в дефиците. Соотношение фосфора и азота в природных водах составляет в среднем 1 : 23 (в реках и ручьях 1 : 28), в биомассе 1 : 16. Это определенным образом тормозит биологическую продуктивность Земли. Хотя часть фосфора из Мирового океана естественным путем возвращается на сушу птицами и с выловленной рыбой, общий объем возврата фосфора явно меньше количества выноса его в гидросферу.

В течение XX в. в результате хозяйственной деятельности человека цепочка круговорота фосфора в биосфере оказалась нарушенной. Этому способствовали производство фосфорных удобрений и широкое их применение в сельском хозяйстве, получение в промышленных масштабах различных фосфорсодержащих препаратов, производство продовольствия и кормов, развитие рыбного промысла, добыча морских моллюсков и водорослей. Эти действия прямым образом отразились на круговороте фосфора и привели к перераспределению содержания фосфатов на суше и в гидросфере. Наблюдается также крайне неравномерная концентрация фосфора на земной поверхности. Его больше в местах развития сельского хозяйства, где происходит малообратимая аккумуляция органических соединений фосфора. Эрозия почв, смыв удобрений, органических отходов и экскрементов поверхностными водами, сбросы канализационных стоков приводят к сильнейшему фосфорному загрязнению рек, озер и прибрежных областей Мирового океана. Происходит фосфатизация почв, рек, водоемов суши, прибрежных участков морей, особенно в области дельт, заливов и эстуариев.

Круговорот серы. Сера имеет важное биологическое значение, так как она входит в состав аминокислот, белков и других сложных органических соединений. В пересчете на сухое вещество в наземных растениях содержание серы составляет 0,3 %, у наземных животных — 0,5, в морских растениях — 1,2, у морских животных — до 2 %.

В большом, геологическом, круговороте серы переносится с океана на материки атмосферными осадками и возвращается с речным стоком обратно в Мировой океан (рис. 9.4). Одновременно ее запасы пополняются за счет вулканической деятельности и при

процессах выветривания. Вулканы выбрасывают серу в виде триоксида (серного ангидрида SO_3), диоксида (сернистого газа SO_2), сероводорода H_2S и элементарной серы. В литосфере имеются в большом количестве сульфиды различных металлов: железа, цинка, свинца, меди и др. В биосфере сернистая сера с участием многочисленных микроорганизмов окисляется до сульфатной серы SO_4^{2-} , которая находится в почве и водоемах. В малом круговороте сульфаты поглощаются растениями. Растительные животные получают необходимую для жизнедеятельности серу. В результате сложных превращений и видоизменений при разрушении остатков организмов, растительного опада сера попадает в почвенные воды и в илы водоемов суши, морей и океанов. При разрушении белков с участием микроорганизмов образуется сероводород, который в дальнейшем окисляется или до элементарной серы, или до сульфатов. В первом случае формируются залежи чистой серы, а во втором — залежи гипса. При разрушении последних во время добычи или выветривания сера вновь вовлекается в круговорот.

Сероводородное заражение вод Черного моря — это результат жизнедеятельности сероразлагающих бактерий в анаэробных условиях. Сероводород нередко возникает в пресноводных водоемах, загрязненных промышленными стоками. На заключительном этапе геологического круговорота сера выпадает в осадок в анаэробных условиях в присутствии железа и других металлов и медленно накапливается в виде конкреций или тонкораспыленного вещества в земных недрах.

Промышленное загрязнение приводит к нарушению круговорота серы, так же как и других вышеперечисленных элементов,

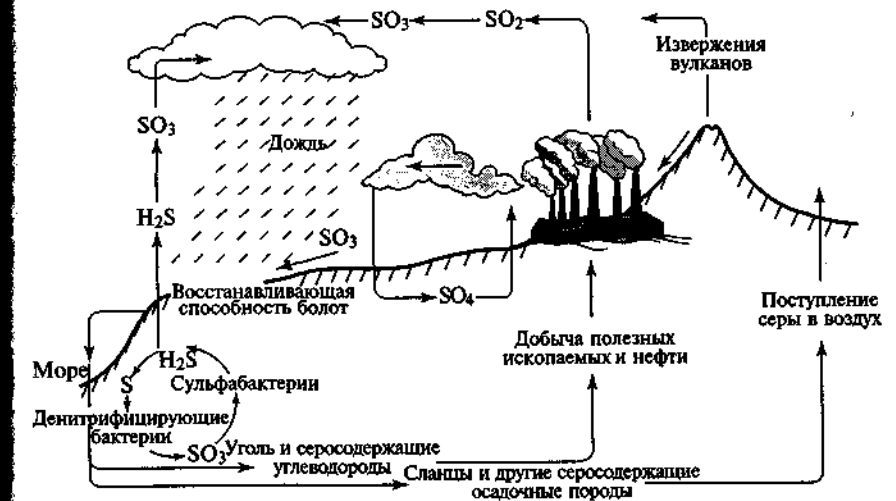


Рис. 9.4. Круговорот серы

участвующих в других круговоротах. Дополнительным поставщиком серы в большой круговорот являются теплоэнергетические установки, которые при сжигании минерального топлива выбрасывают сернистый газ.

Атмосфера Земли способна самоочищаться от сернистого ангидрида при выпадении атмосферных осадков: он преобразуется газовыми выделениями растительности или осаждается в форме сульфатных аэрозолей.

Экологическая опасность сернистого ангидрида заключается в том, что при фотохимическом окислении в присутствии диоксида азота и углеводородов сначала образуется серный ангидрид SO_2 , который соединяясь с водяными парами, превращается в аэрозоли серной кислоты H_2SO_4 . Продолжительность всего цикла от момента естественных или техногенных выбросов SO_2 до удаления из атмосферы паров серной кислоты составляет до 14 суток. С воздушными потоками аэрозоли серной кислоты разносятся на значительные расстояния от источника выброса и выпадают в виде кислотных дождей. Об этом подробнее изложено в разделах, касающихся асидификации атмосферы и гидросферы.

Круговорот ртути. Этот редко встречаемый химический элемент очень токсичен. Сильной токсичностью обладают и соединения ртути. В природе ртуть рассеяна в земной коре и очень редко встречается в таких минералах, как киноварь, где она содержится в концентрированном виде. Ртуть участвует в круговороте веществ, мигрируя в газообразном состоянии и в водных растворах.

В атмосферу ртуть поступает из гидросферы при испарении, вместе с вулканическими газами и газами из термальных источников. Часть газообразной ртути переходит в твердую фазу и удаляется из воздушной среды. Выпавшая вместе с атмосферными осадками ртуть поглощается почвенными растворами и глинистыми породами. Ртуть в небольших количествах содержится в нефти и каменном угле (до 1 мг/кг). В водной массе океанов ее количество составляет около 1,6 млрд т, в донных осадках заключено около 500 млрд т, а в планктонных организмах находится до 2 млн т ртути и ее соединений. Речными водами ежегодно с суши выносятся около 40 тыс. т ртути, что на порядок меньше, чем поступает в атмосферу при испарении.

В результате усилившихся техногенных выбросов в атмосферу и гидросферу ртуть из естественного компонента природной среды, участвующего во всех круговоротах, превратилась в весьма опасный компонент для здоровья человека и живого вещества. Ртуть применяют в металлургической, химической, электротехнической, электронной, целлюлозно-бумажной и фармацевтической промышленности, используют для производства взрывчатых веществ, люминесцентных ламп, лаков и красок. Промышленные стоки и

атмосферные выбросы, горно-обогатительные фабрики при ртутных рудниках, теплоэнергетические установки, использующие минеральное топливо, являются главными источниками загрязнения биосферы этим токсичным компонентом. Кроме того, ртуть входит в состав некоторых пестицидов, которые используют в сельском хозяйстве для протравливания семян и защиты их от вредителей. В организм человека ртуть и ее соединения поступают вместе с пищей.

Круговорот свинца. Несмотря на то что свинца в земной коре содержится всего 0,0016 %, он присутствует во всех компонентах природной среды. Важнейшим в круговороте свинца является его атмосферно-гидросферный перенос. Находящийся в атмосфере свинец вместе с пылью осаждается атмосферными осадками и начинает концентрироваться в почвах. Растения получают свинец из почв, природных вод и атмосферных выпадений, а животные — при потреблении растений и воды. В организм человека свинец попадает вместе с пищей, водой и пылью.

Основными источниками загрязнения биосферы свинцом являются разнообразные двигатели, выхлопные газы которых содержат тетраэтилсвинец, теплоэнергетические установки, сжигающие каменный уголь, горно-добывающая, металлургическая и химическая промышленность. Значительное количество свинца вносится в почву сточными водами.

У жителей промышленно развитых стран содержание свинца в организме в несколько раз больше, чем у жителей аграрных стран, а у горожан выше, чем у сельских жителей. Увеличение концентрации свинца в природных средах приводит к необратимым процессам в костях и печени людей.

Биосфера — это область распространения живого вещества. В ее истории имеются важнейшие рубежи, свидетельствующие о влиянии на ее развитие и эволюцию различных геосферных факторов. Живое вещество обладает весьма своеобразными экологическими функциями. Важное геоэкологическое значение имеют энергетическая, газовая, почвенно-элювиальная, водоочистная, водорегулирующая, концентрационная, транспортная и деструктивная функции. Биосфера многолика в результате исключительно огромного таксономического разнообразия. Каждый организм или группа организмов в силу своих физиологических особенностей и условий существования способны служить инструментом индикации загрязненности природной среды. В биосфере существует круговорот веществ, которому предшествует геологический круговорот, подготовляющий вещества для жизнедеятельности организмов. Более низкий уровень биосферного круговорота составляет биологический круговорот. В природе существуют круговороты углерода, азота, фосфора, серы, ртути, свинца и других химических элементов и соединений.

Контрольные вопросы

1. Где проходят границы биосферы?
2. В чем заключается особенность биосферы?
3. В чем заключается цефализация?
4. Какова история биосферы? Назовите основные вехи развития биосферы.
5. Каковы экологические функции живого вещества?
6. В чем заключается энергетическая функция живого вещества?
7. В чем заключается газовая функция живого вещества?
8. В чем заключаются почвенно-элювиальная, водоочистная и водорегулирующая функции живого вещества?
9. В чем заключается концентрационная, транспортная и деструктивная роль живого вещества?
10. Каково биологическое разнообразие?
11. На чем основана биоиндикация?
12. Как происходит и чем обусловлен круговорот веществ в биосфере?
13. Каков круговорот углерода?
14. Каков круговорот азота в биосфере?
15. Каков круговорот фосфора в биосфере?
16. Каков круговорот серы в биосфере?
17. Каков круговорот ртути в биосфере?
18. Каков круговорот свинца в биосфере?
19. Существует ли в биосфере круговорот других химических элементов и соединений?

Литература

- Бгатов В. И.* История атмосферы Земли. — М., 1987.
Биогеохимические циклы в биосфере. — М., 1976.
Будыко М. И. Эволюция биосферы. — Л., 1984.
Вернадский В. И. Химическое строение биосферы и ее окружения. — М., 1965.
Вернадский В. И. Биосфера. — М., 1965.
Киселев В. Н. Основы экологии. — Минск, 2000.
Одум Ю. Экология. — М., 1986.
Реймерс Н. Ф. Экология (законы, теории, правила, принципы и гипотезы). — М., 1994.

ГЛАВА 10 КОСМОПЛАНЕТАРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОСФЕРЫ

Среди природных явлений, воздействующих на геологическую среду и географическую оболочку, немаловажную роль играют космические процессы. Они вызываются приходящей энергией и веществом падающих на Землю космических тел разного размера — метеоритов, астероидов и комет.

10.1. Космическая радиация

Мощный поток космического излучения, направленного к Земле со всех сторон Вселенной, существовал всегда. «Наружный лик Земли и жизнь, наполняющая его, являются результатом разно-стороннего взаимодействия космических сил... Органическая жизнь только там и возможна, где имеется свободный доступ космической радиации, ибо жить — значит пропускать сквозь себя поток космической энергии в кинетической ее форме», — считал создатель гелиобиологии А. Л. Чижевский (1973).

В настоящее время многие биологические явления геологического прошлого Земли рассматриваются как глобальные и синхронные. На живые системы воздействует внешний источник энергии — космическое излучение, действие которого было постоянным, но неравномерным, подверженным резким колебаниям, вплоть до самых сильных, выраженных в форме ударного действия. Это связано с тем, что Земля, как и вся Солнечная система, вращаясь вокруг центра Галактики по так называемой галактической орбите (время полного оборота называется галактическим годом и он равен 215—220 млн лет), периодически попадала в зону действия струйных потоков (струйного истечения космического вещества). В эти периоды усиливались потоки космического излучения, попадавшего на Землю, увеличивалось число космических пришельцев — комет и астероидов. Космическая радиация играла ведущую роль во время взрывных периодов эволюции на заре жизни. Благодаря космической энергии были созданы условия для возникновения механизма клеточных организмов. Важна роль космической радиации на рубеже криптозоы и фанерозоы во время «по-

пуляционного взрыва». Сегодня можно более или менее уверенно говорить об уменьшении роли космической радиации в течение геологической истории. Это связано с тем обстоятельством, что или Земля находится в «благоприятной» части галактической орбиты, или у нее появились некие защитные механизмы. В ранние геологические эпохи поток космической радиации был более интенсивным. Это выражается наибольшей «терпимостью» к космической радиации прокариот и первых одноклеточных организмов, и главным образом, синезеленых водорослей. Так, цианеи были обнаружены даже на внутренних стенках атомных реакторов, и высокая радиация никак не отразилась на их жизнедеятельности. Воздействие жесткого коротковолнового и ультракоротковолнового облучения на организмы, обладающие различной генетической структурой, уровнем организации и защитными свойствами, было селективным. Поэтому воздействием космического облучения можно объяснить и массовые вымирания, и значительное обновление органического мира на определенных этапах геологической истории. Не без участия космического излучения возник озоновый экран, сыгравший определяющую роль в дальнейшем направлении земной эволюции живых организмов.

10.2. Космогеологические процессы

Космогеологические процессы связаны с падением на Землю космических тел — метеоритов, астероидов и комет. Это привело к возникновению на земной поверхности ударных, ударно-взрывных кратеров и астроблем, а также к ударно-метаморфическому (шоковому) преобразованию вещества горных пород в местах падения космических тел.

Ударные кратеры, образовавшиеся в результате падения метеоритов, имеют в диаметре менее 100 м, ударно-взрывные, как правило, свыше 100 м. Предполагается, что астроблемы образовались в результате падения астероидов и комет, т.е. космических тел, размеры которых намного превосходят размеры метеоритов. Астроблемы, найденные на Земле, имеют в поперечнике от 2 до 300 км.

В настоящее время на всех континентах найдено немногим более 200 астроблем. Значительно большее количество астроблем покоится на дне Мирового океана.

Их трудно обнаружить, и они недоступны для визуального изучения. На территории России одной из наиболее крупных является Попигайская астроблема, расположенная на севере Сибири и достигающая в поперечнике 100 км.

Астероиды — тела Солнечной системы диаметром от 1 до 1000 км. Их орбиты находятся между орбитами Марса и Юпитера. Это так называемый пояс астероидов. Орбиты некоторых астероидов про-

ходят близко к Земле, Кометы — небесные тела, движущиеся по сильно вытянутым орбитам. Центральная наиболее яркая часть кометы называется ядром. Его диаметр колеблется от 0,5 до 50 км. Масса ядра, состоящего из льда — конгломерата замерзших газов, в основном аммиака, воды и частиц пыли, составляет $10^{14} - 10^{20}$ г. Хвост кометы состоит из улетающих из ядра под действием солнечных лучей ионов газов и частиц пыли. Длина хвоста может достигать в длину десятков миллионов километров. Ядра комет располагаются за пределами орбиты Плутона в так называемых кометных облаках Оорта.

В то время как после падения астероидов остаются своеобразные кратеры — астроблемы, то после падения комет кратеры не возникают, а огромная их энергия и вещество перераспределяются своеобразным образом.

При падении космического тела — метеорита или астероида — за очень короткое мгновение, в течение всего 0,1 с, выделяется огромное количество энергии, которая расходуется на сжатие, дробление, плавление и испарение пород в точке соприкосновения с поверхностью. В результате воздействия ударной волны образуются породы, имеющие общее название *импактитов*, а возникающие при этом структуры называют *импактными*.

Пролетающие близко к Земле кометы притягиваются земным притяжением, но земной поверхности не достигают. Они распадаются в верхних частях атмосферы и посылают на земную поверхность мощную ударную волну (по разным подсчетам она составляет $10^{21} - 10^{24}$ Дж), которая приносит сильные разрушения, меняющие природную среду, а вещество в виде газов, воды и пыли распределяется по земной поверхности.

10.2.1. Признаки космогенных структур

Космогенные структуры могут выделяться на основании морфоструктурных, минералого-петрографических, геофизических и геохимических признаков.

К **морфоструктурным признакам** относится характерная кольцевая или овальная кратерная форма, хорошо видная на космических и аэрофотоснимках и выделяемая при внимательном рассмотрении топографической карты. Кроме того, овальным формам сопутствует наличие кольцевого вала, центрального поднятия и отчетливое радиально-кольцевое расположение разрывных нарушений.

Минералого-петрографические признаки выделяются на основании присутствия в ударно-метаморфических кратерах высокобарических модификаций минералов и минералов с ударными структурами импактитов, раздробленных и брекчированных пород.

К высокобарическим минералам относятся полиморфные модификации SiO_2 — *коэсит* и *стивовит*, мелкие кристал-

лы алмаза, морфологически отличающиеся от алмазов кимберлитов, и наиболее высокобарические модификации углерода — *лонсдейлит*. Они возникают в глубоких частях земных недр, в мантии при сверхвысоких давлениях и не характерны для земной коры. Поэтому присутствие этих минералов в кратерах дает полное основание считать их происхождение ударным.

В породообразующих и акцессорных минералах кратера, в таких как кварц, полевые шпаты, циркон и др., образуются планарные структуры, или *деформационные ламеллы*, — тонкие трещины в несколько микрон, расположенные обычно параллельно определенным кристаллографическим осям зерен минералов. Минералы с планарными структурами называют *шоковыми*.

Импактилы представлены стеклами плавления, часто с обломками различных минералов и пород. Они подразделяются на туфоподобные — *эвциты* и массивные лавоподобные — *тагамиты*.

Среди брекчированных пород выделяют: *аутигенную брекчию* — интенсивно трещиноватую часто переработанную дроблением до состояния муки горную породу; *аллогенную брекчию*, состоящую из крупных перемещенных обломков различных пород.

Геофизическими признаками космогенных структур являются кольцевые аномалии гравитационных и магнитных полей. Центры кратера обычно соответствуют отрицательные или пониженные магнитные поля, гравитационные минимумы, осложненные иногда локальными максимумами.

Геохимические признаки определяются обогащенностью тяжелыми металлами (Pt, Os, Ir, Co, Cr, Ni) анализируемых горных пород кратеров или астроблем. Перечисленные элементы характерны для хондритов. Но, кроме того, наличие импактных структур может диагностироваться изотопными аномалиями углерода и кислорода, которые существенным образом отличаются от пород, сформированных в земных условиях.

10.2.2. Сценарии образования космогенных структур и реальность космических катастроф

Один из сценариев образования космогенных структур был предложен Б. А. Ивановым и А. Т. Базилевским (рис. 10.1).

Приближаясь к поверхности Земли, космическое тело соударяется с нею. От точки удара распространяется ударная волна, приводящая в движение вещество в месте удара. Начинает расти полость будущего кратера (рис. 10.1, I). Частично за счет выброса, а частично за счет преобразования и выдавливания разрушающихся пород полость достигает максимальной глубины. Образуется временный кратер (рис. 10.1, II). При малом размере космического тела кратер может оказаться устойчивым (рис. 10.1, III). В другом

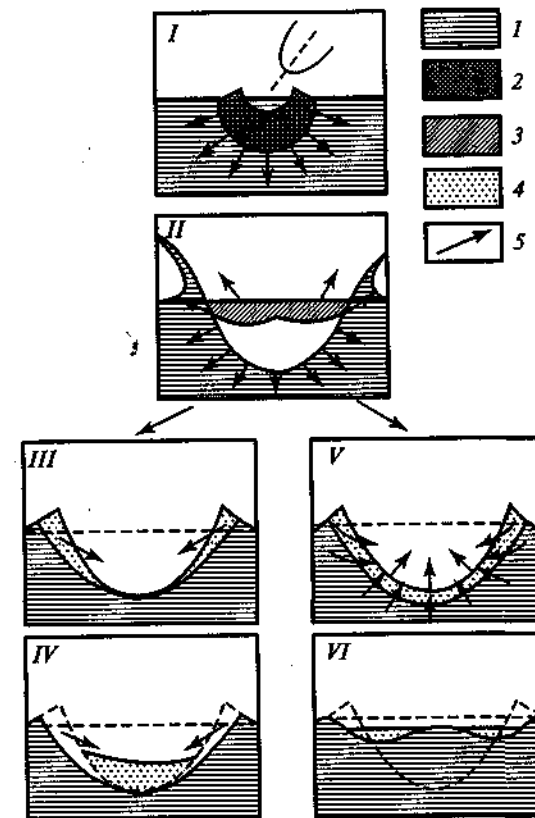


Рис. 10.1. Примерный «сценарий» образования метеоритных кратеров: I — горные породы; 2 — горная порода, сжатая ударной волной; 3 — горная порода, выброшенная в результате удара; 4 — раздробленная горная порода в смеси с ударным расплавом; 5 — направление перемещения материала; I—VI — последовательность образования кратеров

случае разрушенный материал сползает с бортов временного кратера и заполняет дно. Формируется «истинный кратер» (рис. 10.1, IV).

В ударном событии большого масштаба происходит быстрая потеря устойчивости, приводящая к быстрому вздыманию дна кратера, обрушению и опусканию его периферических частей. При этом образуется «центральная горка» (рис. 10.1, V), а кольцевое углубление заполняется смесью обломков и импактного расплава (рис. 10.1, VI).

В истории Земли органический мир неоднократно испытывал потрясения, в результате которых происходили массовые вымирания. За сравнительно кратковременные отрезки времени исчезло

значительное число родов, семейств, отрядов, а иногда и классов животных и растений, некогда процветавших. В фанерозое насчитывается по крайней мере семь наиболее значительных вымираний (конец ордовика, граница фамена и франа в позднем девоне, на рубеже перми и триаса, в конце триаса, на границе мела и палеогена, в конце эоцена, на рубеже плейстоцена и голоцена). Их наступление и существующую периодичность многократно пытались объяснить многими независимыми причинами. Сегодня исследователи убеждаются, что биотические изменения во время события вымирания трудно объяснить только внутренними биологическими причинами. Все большее число фактов свидетельствует о том, что эволюция органического мира — не автономный процесс и среда жизни — не пассивный фон, на котором развивается данный процесс. Колебания физических параметров среды, ее неблагоприятные для жизни изменения — непосредственный источник причин массовых вымираний.

Наиболее популярными являются такие гипотезы вымирания: облучение в результате распада радиоактивных элементов; воздействие химических элементов и соединений; термическое воздействие или действие Космоса. Среди последних — взрыв сверхновой звезды в «ближайших окрестностях» Солнца и «метеоритные ливни». В последние десятилетия большую популярность приобрела гипотеза «астероидных» катастроф и гипотеза «метеоритных ливней».

Долгие годы считали, что падение комет на поверхность Земли — явление достаточно редкое, происходящее раз в 40—60 млн лет. Но в последнее время, исходя из галактической гипотезы, высказанной А. А. Баренбаумом и Н. А. Ясамановым, было показано, что кометы и астероиды на нашу планету падали довольно часто. Более того, они не только корректировали численность живых существ и видоизменяли природные условия, но и приносили вещество, необходимое для жизнедеятельности. В частности, предполагается, что объем гидросферы практически полностью зависел от кометного материала.

В 1979 г. американскими учеными Л. Альваресом и У. Альваресом была высказана оригинальная импактная гипотеза. Основываясь на находке в Северной Италии повышенного содержания иридия в тонком слое на границе мела и палеогена, несомненно космического происхождения, они предположили, что в это время произошло столкновение Земли с относительно крупным (не менее 10 км в диаметре) космическим телом — астероидом. Вследствие удара изменились температуры приземных слоев атмосферы, возникли сильные волны — цунами, обрушившиеся на берега, и произошло испарение океанской воды. Это было вызвано тем, что астероид при входе в земную атмосферу раскололся на несколько частей. Одни обломки упали на сушу, а другие погрузились в воды океана.

Эта гипотеза стимулировала изучение пограничных слоев мела и палеогена. К 1992 г. иридиевая аномалия была обнаружена более чем в 105 пунктах на разных континентах и в керне буровых скважин в океанах. В тех же пограничных слоях были обнаружены микросферы минералов, образовавшихся в результате взрыва, обломочные зерна шокового кварца, изотопно-геохимические аномалии ^{13}C и ^{18}O , пограничные слои, обогащенные Pt, Os, Ni, Cr, Au, которые характерны для хондритовых метеоритов. В пограничных слоях, кроме того, было обнаружено присутствие сажи, что является доказательством лесных пожаров, вызванных усиленным притоком энергии во время взрыва астероида.

В настоящее время появились данные, свидетельствующие о том, что на границе мела и палеогена не только упали осколки крупного астероида, но и возник рой болидов, которые породили целую серию кратеров. Один из таких кратеров обнаружен в Северном Причерноморье, другой — на Полярном Урале. Но самой крупной импактной структурой, образовавшейся в результате этой бомбардировки, является погребенный кратер Чиксулуп на севере полуострова Юкатан в Мексике. Он имеет в диаметре 180 км и глубину около 15 км.

Этот кратер обнаружен во время бурения и оконтурен по гравитационной и магнитной аномалиям. В керне скважины установлены брекчированные породы, импактные стекла, шоковый кварц и полевоы шпат. Выбросы из этого кратера обнаружены на далеком расстоянии — на острове Гаити и в Северо-Восточной Мексике. На границе мела и палеогена обнаружены тектиты — сферы оплавленного стекла, которые диагностированы как образования, выброшенные из Чиксулупского кратера.

Второй кратер, возникший в результате космической бомбардировки на рубеже мела и палеогена, — Карская астроблема, расположенная на восточном склоне Полярного Урала и хребта Пай-Хой. Она достигает 140 км в поперечнике. Еще один кратер обнаружен на шельфе Карского моря (Усть-Карская астроблема). Предполагается, что крупная часть астероида упала и в Баренцево море. Она вызвала необычайно высокую волну — цунами, испарила значительную часть океанской воды и вызвала крупные лесные пожары на просторах Сибири и Северной Америки.

Хотя вулканическая гипотеза выдвигает альтернативные причины вымирания, она, в отличие от импактной, не может объяснить массовые вымирания, случившиеся в другие отрезки геологической истории. Несостоятельность вулканической гипотезы является при сравнении эпох активной вулканической деятельности с этапами развития органического мира. Выяснилось, что во время крупнейших вулканических извержений практически полностью сохранилось видовое и родовое разнообразие. Согласно этой гипотезе, считается, что массовые излияния базальтов на плато

Дека в Индии на рубеже мела и палеогена могли привести к последствиям, сходным с последствиями падения астероида или кометы. В значительно больших масштабах излияния траппов происходили в пермском периоде на Сибирской платформе и в триасе на Южно-Американской, но массовых вымираний они не вызвали.

Активизация вулканической деятельности способна привести и не раз приводила к глобальному потеплению благодаря выделению в атмосферу парниковых газов — углекислоты и водяного пара. Но одновременно вулканические извержения выделяют и оксиды азота, которые приводят к разрушению озонового слоя. Однако вулканизм не способен объяснить такие особенности пограничного слоя, как резкое повышение иридия, имеющего несомненно космическое происхождение, появление шоковых минералов и тектитов.

Это не только делает импактную гипотезу более предпочтительной, но и дает основание предполагать, что излияние траппов на плато Декан могло быть даже спровоцировано падением космических тел вследствие передачи энергии, которая была привнесена астероидом.

Изучение фанерозойских отложений показало, что практически во всех пограничных слоях, по времени соответствующих известным фанерозойским вымираниям, установлено присутствие повышенного количества иридия, шокового кварца, шокового полевого шпата. Это дает основание считать, что падение космических тел в эти эпохи, так же как и на рубеже мела и палеогена, могло вызвать массовые вымирания.

Последней крупнейшей катастрофой в новейшей истории Земли, возможно, вызванной столкновением Земли с кометой, является Всемирный потоп, описанный в Ветхом Завете. В 1991 г. австрийские ученые, супруги Эдит Кристиан-Толман и Александр Толман, по годичным кольцам деревьев, резко увеличению содержания кислот в ледниковом покрове Гренландии и другим источникам установили даже точную дату события — 25 сентября 9545 г. до н. э. Одним из доказательств связи Всемирного потопа с космической бомбардировкой является выпадение дождя из тектитов на огромном пространстве, охватывающем Азию, Австралию, Южную Индию и Мадагаскар. Возраст тектитосодержащих слоев составляет 10 000 лет, что совпадает с датировками супругов Толман.

По-видимому, основные обломки кометы упали в океан, что вызвало катастрофические землетрясения, извержения вулканов, цунами, ураганы, ливни глобального масштаба, резкое повышение температуры, лесные пожары, общее затемнение от массы пыли, выбрасываемой в атмосферу, а затем похолодание. Таким образом, могло возникнуть явление, известное в настоящее время

как «астероидная зима», сходная по своим последствиям с «ядерной» зимой. В результате этого многие представители наземной фауны и флоры исторического прошлого исчезли. Особенно это касается крупных млекопитающих. Уцелели морская биота и мелкая наземная фауна, наиболее приспособленная к условиям обитания и способная спрятаться на некоторое время от неблагоприятных условий. К числу последних относились и первобытные люди.

Земля представляет собой открытую систему, и поэтому на нее оказывают сильнейшие воздействия космические тела и космические процессы. С падением космических тел связано возникновение на Земле своеобразных космогеологических процессов и космогеологических структур. После падения на Землю метеоритов и астероидов на земной поверхности остаются взрывные кратеры — астроблемы, в то время как после падения комет энергия и вещество своеобразным способом перераспределяются. Падения комет или их пролет в непосредственной близости от Земли фиксируются в геологической истории в форме массовых вымираний. Крупнейшее вымирание в органическом мире на рубеже мезозоя и кайнозоя скорее всего было связано с падением крупного астероида.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой космическая радиация?
2. Что такое галактический год?
3. Что представляют собой струйные потоки?
4. Чем обусловлено возникновение и течение космогеологических процессов?
5. Что такое астроблема?
6. Что собой представляют импактиты?
7. Что собой представляют импактиты?
8. Какое событие произошло на рубеже мела и палеогена?

Литература

- Короновский Н. В., Якушова А. Ф. Основы геологии. — М., 1991.
Хайн В. Е. Основные проблемы современной геологии (геология на пороге XXI века). — М., 1994.

**СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ
РАЗВИТИЯ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГЕОСФЕРЫ**

11.1. Численность населения как геоэкологический фактор

Дальнейшее развитие и благополучие биосферы всецело зависят от воздействия социально-экологических факторов: численности населения, степени и уровня потребления и технического прогресса. Этот фактор стал определяющим со времени появления человеческих цивилизаций. Вся история взаимоотношения человека с природой — это непрерывная череда возникающих проблем и противоречий. Одни них благополучно разрешались самой природой, другие перерастали в экологические кризисы. Среди них уже упоминаемые нами опустынивание территорий (появление пустыни Сахары), упадок первых государств-монархий. Впервые мысль об ограниченности ресурсного потенциала Земли возникла у Т. Мальтуса. Он полагал, что с ростом населения Земли, которое, как мы знаем, увеличивается в геометрической прогрессии, будет расти недостаток продовольствия. В связи с этим на Земле начнет нарастающими темпами развиваться голод, сопровождаемый недостатком питьевой воды и развитием эпидемий.

Сегодня известно, что численность населения предопределяет суммарные потребности общества в питании, одежде, жилище, образовании и медицинском обслуживании. В свою очередь, это сопровождается усилением антропогенного давления на многие природные ресурсы и вызывает деградацию, особенно при возрастающем расходовании природных ресурсов, и, как следствие, приводит к многочисленным серьезным геоэкологическим проблемам и кризисам.

Таким образом, оказывается, что численность населения становится важнейшим геоэкологическим фактором. Однако геоэкологическое состояние современной эпохи стремительно ухудшается не только из-за роста численности населения, но и в результате возрастания естественного желания людей жить лучше, вследствие чего потребности людей намного обгоняют рост их численности.

В начале голоценовой эпохи, т. е. около 10 тыс. лет назад, общая численность населения Земли составляла 5—10 млн чел. С этого момента начался рост населения. Вначале это был довольно медленный процесс, но с течением времени он ускорился. Количе-

ство людей на Земле в течение последних 2000 лет изменялось следующим образом (млрд чел.):

0	0,25	1960	3,0
1000	0,28	1974	4,0
1800	1,0	1987	5,00
1925	2,00	2000	6,0

Стремительный рост численности населения происходил во второй половине XX в. В течение одного этого века она возросла в 3,5 раза, а только за её вторую половину число людей на Земле удвоилось. Ожидается, что вскоре абсолютный прирост населения за год постепенно начнет снижаться. Согласно прогнозам, стабилизация численности населения Земли произойдет в середине XXI в. и остановится на уровне 8—10 млрд человек.

Почему должна произойти стабилизация численности населения? Согласно мнению крупнейшего демографа Ф. Ноутштайна (США), экономический и социальный прогресс влияет на рост населения, обеспечивая процесс демографического перехода. В соответствии с этой теорией страны мира разделяются на три категории. К первой категории относятся страны, в которых и рождаемость, и смертность высоки. В них численность населения увеличивается медленно или вовсе не увеличивается. К странам второй категории относятся те, в которых вследствие улучшения условий жизни и особенно вследствие широкого распространения медицинского обслуживания смертность сокращается, а рождаемость остается высокой. Поэтому в этих странах численность населения быстро растет. К ним относятся так называемые развивающиеся страны. К третьей категории относятся страны, в которых благодаря социальному и экономическим достижениям, в том числе из-за снижения детской смертности, размер семей уменьшается и роста численности населения практически не происходит. Многие страны Европы, а также Япония относятся к странам, в которых численность населения стабилизировалась. В последние годы в связи с ухудшением материальных условий, снижением уровня медицинского обслуживания, возросшими ценами на лекарственные препараты и дестабилизирующей ролью алкоголя и наркотиков численность населения в России стала снижаться.

Рост численности населения Земли происходит в основном за счет развивающихся стран, доля населения которых составляет сегодня 75 %, а к 2030 г. в этих странах будет проживать около 85 % населения всего земного шара.

Надо отметить, что если практически все страны Западной Европы в начале XX в. относились к странам первой категории, то в настоящее время большинство из них, как отмечалось выше, относятся к странам третьей категории.

Весьма своеобразным является распределение численности населения по возрастам. В развитых странах доля населения для каждой возрастной группы остается приблизительно одинаковой. В то же время для развивающихся стран это соотношение существенно неодинаково. В них резко преобладает доля молодых людей, а это является основой для дальнейшего роста численности населения с соответствующим ростом антропогенной нагрузки на природные ландшафты и ресурсы.

Как считают многие ведущие демографы, стабилизация населения мира вскоре состоится и тем самым завершится чрезвычайно важный для состояния биосферы процесс перехода от численности 6 млрд человек к рубежу 10 млрд, и на этом уровне численность населения стабилизируется. Но такой рост в силу взаимосвязанных процессов, протекающих в биосфере, атмосфере, гидросфере и в верхней части литосферы, станет корректироваться.

Остановимся на некоторых особенностях этого роста. В своем учебнике по геоэкологии данную проблему подробно разбирает Г. Н. Голубев. Если численность населения какой-либо страны возрастает до такого уровня, что его потребности уже превышают природный потенциал, обеспечивающий возобновимость некоторых природных ресурсов (местные леса, пастбища, почвы, воды, рыба и т. д.), как и потенциал поглощения и деструкции загрязнений, то население начинает прямо или косвенно разрушать свою ресурсную базу. Эта ситуация называется демографической ловушкой. По-видимому, ряд развивающихся стран находится в подобной ситуации. Вследствие ухудшающихся условий жизни населения таких стран смертность начинает увеличиваться и они могут вернуться к состоянию стран первой категории, но при гораздо большей численности населения. Хотя последствия такого возврата трудно предсказуемы, но это весьма неблагоприятным образом отразится на жизни населения не только этих стран, но и других стран мира.

В настоящее время наиболее населенным регионом мира является Юго-Восточная Азия (Китай, Индия, Пакистан, Бангладеш, Индонезия), где проживает около половины населения Земли. И эта территория подвержена наибольшему антропогенному прессу и трансформации.

Рост населения отдельных континентов неодинаковый. Население Северной Америки за последние 250 лет увеличилось в пять-семь раз, а Южной Америки — примерно в 20 раз. Именно во столько же раз увеличилась антропогенная нагрузка на природные ресурсы и условия.

Весьма важным фактором является разделение стран по численности городского и сельского населения. Оказываемые воздействия на природные условия этих групп населения неодинаковы. Городская среда — это пространство, в котором постоянно живет

немногим более половины человечества, а почти все остальные жители Земли посещают города в качестве визитеров.

Городская среда загрязнена сама по себе. Это не только результат технологического несовершенства цивилизации, но и атрибут концентрации промышленных предприятий и людей. Потоки загрязняющих веществ, возникшие тем или иным путем, распространяются во всех направлениях. Многие города являются полифункциональными, хотя имеются городские поселения с достаточно узкой специализацией. Имеются города административные, торговые, военные, энергетиков, металлургов, шахтеров, горно-металлургические, лесопромышленного комплекса, рыболовецкие, города-транспортные узлы со своей сферой обслуживания. Причем каждый город, исходя из своей специфики, вносит в природную среду свои загрязнения.

Над городами происходит существенное насыщение воздуха загрязняющими веществами. Это обусловлено масштабными выбросами антропогенных аэрозолей, высокими концентрациями углекислого газа и паров воды. Основными городскими загрязнителями являются пыль, угарный газ, сернистый ангидрид, оксиды и диоксиды азота, полициклические ароматические углеводороды, тяжелые металлы и др. В атмосфере происходит трансформация многих ингредиентов антропогенных выбросов, в результате чего образуются вторичные аэрозоли. Особенности их выпадения зависят от динамики воздушных масс, атмосферных осадков и объема выбросов. Антропогенные выбросы не только загрязняют атмосферный воздух, но вызывают появление смогов и меняют среднюю температуру.

Загрязняющие вещества из воздуха удаляются ветром или атмосферными осадками, но в безветренную погоду они накапливаются.

Районами с высоким потенциалом загрязнения воздуха на зарубежных территориях являются Центральная Аляска, северо-восток Великих равнин США, Калифорнийское побережье, приоканские пустыни Атакама, Западная Сахара, а в России — почти вся Восточная Сибирь, Саяны, Алтай, Кольский и Таймырский полуострова.

Антропогенное вмешательство в гидросферу на территории городов в первую очередь выражено сооружением дренажной сети и искусственных каналов стока, которые приспособлены к сбрасыванию сточных вод. Городские сточные воды загрязнены твердыми частицами, нефтью и нефтепродуктами, хлоридами, ПАУ, ПХБ, детергентами, биогенными веществами, тяжелыми металлами. В роли загрязнителей выступает и тепловое загрязнение, которое ведет к усилению токсичных воздействий на различные гидробионты.

С глубокой древности земледелие и скотоводство стали атрибутами хозяйственной деятельности людей. Поля, пастбища, план-

тации занимают промежуточное положение между природными (леса, луга) и искусственными (города) средами. Агроландшафты функционируют не только за счет солнечной энергии и природных веществ, находящихся в литосфере, но и за счет веществ и энергии, привносимых человеком. Это позволило человечеству за счет снижения биоразнообразия и расширения монокультурного производства резко увеличить сельскохозяйственную продукцию как продуцентов, так и первичных консументов.

Сельскохозяйственное производство вносит в природные среды загрязнители в результате широкого использования удобрений и ядохимикатов. Среди последних в зависимости от объекта воздействия различают следующие:

Гербициды	сорная растительность
Инсектициды	насекомые
Зооциды	грызуны
Фунгициды	возбудители грибковых заболеваний
Бактерициды	возбудители бактериальных болезней растений
Димаиды	моллюски
Дефолианты	листья
Десиканты	высушивание листьев на корню
Дефлоранты	цветники и завязи
Рестарданты	регуляторы роста растений
Репелленты	отпугивающие насекомых, грызунов и др. животных
Аттрактанты	привлекающие насекомых

Кроме перечисленных ядохимикатов, в сельском хозяйстве широко применяют две группы пестицидов — хлорорганические и фосфорорганические соединения. Они, как правило, характеризуются высокой стабильностью, токсичностью для гидробионтов и способностью миграции в водных экосистемах.

Неумеренное применение пестицидов ведет не только к загрязнению воды, но и негативно влияет на качество почвы.

Одним из самых широко применяемых способов ведения сельскохозяйственного производства является мелиорация. В мире осушено 157 млн га, причем больше всего осушено земель в Северной и Центральной Америке (56 млн га) и в Западной Европе (40 млн га). Осушительная система состоит из трех составных частей:

регулирующая сеть для сбора и удаления с осушаемой территории избыточных поверхностных и грунтовых вод;

ограждающая сеть, предназначенная для перехвата поверхностных и грунтовых вод, поступающих на осушаемую территорию;

проводящая сеть, которая служит для транспортирования воды из регулирующей и оградительной сетей за пределы осушаемой территории.

В качестве водоприемников используют реки, озера, овраги и балки.

Несмотря на то что осушение играет важную роль в получении сельскохозяйственной продукции, оно вызывает и массу отрицательных последствий. Из-за возросшей фильтрационной способности грунтов резко падает уровень грунтовых вод, что приводит к потере ценных пастбищных и сенокосных угодий. На переосушенных торфяниках в летний период возникают пожары. Ранее заброшенные почвы начинают минерализоваться, на осушенных участках усиливается дефляция. Осушенная и часто защищенная от затопления прибрежная болотистая низменность, лежащая либо ниже уровня моря (Нидерланды), либо чуть выше (Бангладеш), превращается в полюдру. На них после специального обустройства дренажных систем и систем ведения сельского хозяйства получают стабильные урожаи зерновых, других сельскохозяйственных культур, а также используют для выпаса крупного рогатого скота.

По состоянию на 1995 г. в мире осуществляется полив земель на площади около 260 млн га. Самыми большими площадями орошаемых земель обладают Китай и Индия. Главные культуры, выращиваемые на орошаемых землях, — рис, хлопчатник, масличные, кукуруза, пшеница и другие зерновые культуры и кормовые травы. С орошаемых земель в зависимости от климатических условий можно собирать 2—3 урожая ежегодно, а в некоторых районах их число достигает 6—8. Поливное земледелие дает около 1/3 мировой продукции сельского хозяйства.

Орошаемые поля — это высокопродуктивные управляемые агробиогенезы. Полив повышает влажность почвы, увеличивая ее теплопроводность и теплоемкость. Поэтому в теплое время года почва становится холоднее, а в холодное — теплее. Из-за затрат солнечной теплоты на испарение над орошаемыми угодьями днем воздух нагревается меньше (3—6 °C), а ночью выхолаживается меньше, относительная влажность воздуха на таких землях повышается на 30—50 %.

Развитие поливного земледелия и нарушения в способах и правилах орошения сопровождаются негативными последствиями: возникновение так называемой ирригационной эрозии, аккумуляция агроирригационного слоя, вторичное засоление и осолонцевание, сокращение речного стока, появление антропогенных озер, потеря потока биогенов, изменение ресурсов подземных вод, развитие просадок грунта.

Самый большой ущерб пахотным угодьям наносит эрозия почв. Опасность эрозии наступает при уклоне 1—15°. Эрозия почв делится на поверхностную (плоскостную) и линейную. Основной ущерб сельскохозяйственным землям наносит смыв тонкого почвенного слоя тальми, дождевыми и оросительными водами.

Особенности рельефа в России вызывают опасность эрозии на 2/3 площадей. Пояс плоскостной ливневой эрозии включает юг Евразии и Северной Америки, а также Австралию, Африку и

Южную Америку. Исключительное развитие ливневая эрозия имеет в Молдове, на юге Украины, в Закавказье и Средней Азии.

Кроме плоскостной существует овражная эрозия, которая развита на распаханых территориях. Овраги развиваются на склонах и берегах рек. Отмечено, что антропогенное оврагообразование интенсивнее природного. Овраги развиваются как за счет дождевого, так и талого стока. Они растут со скоростью от долей до нескольких метров в год. Максимальная овражность характерна для европейской части России.

На сельскохозяйственных землях наблюдается процесс удаления почвенного материала ветром, т. е. дефляция. При наличии оголенной почвы и сильных ветров возникает ускоренная дефляция.

Самый большой ущерб почвенному покрову причиняют пыльные бури, возникающие при скоростях ветра 12—15 м/с. Пыльные бури делятся на вихревые и потоковые. Вихревые бури перемещаются на громадной площади. Потоковые бури значительно меньшего масштаба и не так сложны по своей динамике.

На земном шаре существуют три главные зоны действия пыльных бурь. Одна из них совпадает с зоной аридных тропиков и субтропиков. Ежегодный вынос пыли с Сахары, которая долетает до Амазонии, составляет от 100 до 400 млн т. Сахарская пыль осаждается в Атлантическом океане, а в Амазонию она привносит микроэлементы, щелочные и щелочноземельные металлы, которые дефицитны для влажнотропических лесов.

Другая область развития пыльных бурь — зона степей и лесостепей, где действуют черные бури. Они часты в Северной Америке и Евразии, где дефляция является природно-антропогенной. Третьей областью развития пыльных бурь является область арктических и субарктических областей, где действуют «серые» бури, вызываемые в основном природными факторами.

Пыльные бури наносят огромный ущерб почвам Северного Кавказа и Ростовской области, Восточной Украины, черноземным землям. Сохранность почвенного покрова при пыльных бурях увеличивается благодаря полезащитным посадкам.

Метод борьбы с плоскостной эрозией почв был предложен в конце XIX в. В. В. Докучаевым. Он рекомендовал прекратить доступ грубых наносов в долины рек, улучшить водный баланс территории и максимально приблизить структуру окультуренных ландшафтов к существовавшим ранее природным. Для этого рекомендуется посадить деревья и кустарники по берегам рек и на песках, перегородить защитными сооружениями овраги, проводить задержание талых вод на полях, образовывать в оврагах системы прудов, засадить деревьями неудобные для пашни территории.

Для контроля над овражной эрозией применяют следующие мероприятия. К числу первых относится постройка специальных сооружений на водосборной площади оврагов, балок и речных

долин. Основная их функция — сокращение смыва почвы и частичное задержание стекающей воды на обрабатываемых землях. В эту группу входит сооружение валов-террас на пашне, ступенчатых террас на крутых склонах, валов и валов-канал в лесополосах, нагорных каналов, микролиманов и т. д.

К другой группе относятся сооружения, размещаемые непосредственно в оврагах или на оврагоопасных крутых склонах. Их главное назначение — прекращение роста оврага в длину, ширину и глубину, а также предупреждение его образования.

В связи с расширением сельскохозяйственных территорий возникла проблема восстановления малых рек. Их вырождение обычно связано с чрезмерной распашкой водосборов в степной и лесостепной зонах.

Огромное геоэкологическое значение имеют болота. Они играют водорегулирующую роль. При высоком содержании воды испарение с них идет примерно так же, как с открытой водной поверхности, а при низкой обводненности потери влаги в атмосферу снижаются. Отсюда во влажные годы ослабляются паводки на питаемых болотами реках, а в сухие годы увеличиваются меженные расходы. Крупные болота, особенно расположенные внутри лесных массивов, выполняют противопожарную функцию.

На болотах произрастает большое количество ценных лекарственных трав и ягодников с высоким содержанием витаминов. Болота также являются местом обитания охраняемых редких видов фауны. Таким образом, болота — важные объекты в хозяйственной, экологической и научной деятельности людей.

Торф, добываемый на болотах, используют как топливо и как удобрение. Торф — великолепный сорбент тяжелых металлов и ряда загрязняющих веществ. Из разложенного торфа получают целлюлозу, из которой изготавливают грубую бумагу, картон и др., а также мягкие ткани. Поэтому потеря торфяников при осушении — это утрата ресурса, на возобновление которого требуются тысячелетия.

Особую ценность представляют верховые болота. Осушение их необходимо проводить на территориях, на которых развиты в разной степени оглеенные почвы, избыточно увлажненные, с дерновым малоразвитым торфянистым горизонтом.

Большое геоэкологическое воздействие на окружающую среду оказывают скотоводство и птицеводство. Около 15 % пищевой энергии человечество получает от этого вида сельскохозяйственной деятельности. И поэтому так велико пастбищное использование земель. Травянисто-кустарниковые пастбища и сенокосы занимают 3,26 млрд га, не считая тундровых и лесотундровых оленьих пастбищ и сельскохозяйственных территорий, на которых выпасают скот после снятия урожая. Велика роль пастбищных угодий в Австралии. Значительную долю такие участки составляют в земельном фонде Евразии, Африки, Южной Америки.

При перегрузке пасущимися животными происходит разрушение пастбищных экосистем, называемое депрессией. Скот не только поедает растительный покров, но и вытаптывает почву. Особенно уязвимы пастбища в областях с экстремальными климатическими условиями, а также пастбища на склонах гор и плато с маломощным рыхлым почвенно-эллювиальным чехлом.

Сильно повреждены пастбища тундр и лесотундровой зоны, которые используются для выпаса оленьих стад. Они деградируют из-за несоблюдения пастбищных оборотов, перевыпаса и вытаптывания. Особенно в плачевном состоянии находятся пастбища в северных районах Ямало-Ненецкого автономного округа. Здесь ежегодно становится непригодным для выпаса до 15 % пастбищ.

Сильно нарушаются растительный покров и почвы при добыче полезных ископаемых, особенно нефти и газа, и при строительстве газопроводов и газоперекачивающих станций.

Так же как и пастбища в криолитной зоне, аридные пастбищные земли чувствительны к перевыпасу. В связи с этим актуальными становятся защита пастбищных экосистем от деградации и оптимизация пастбищных угодий. Поэтому в ряде стран широкое распространение получило создание культурных пастбищ, включающее осушение переувлажненных участков, расчистку от кустарников и мелколесья, выкорчевывание пней, выравнивание поверхности, проведение противоэрозионных работ, внесение удобрений и микроэлементов, уход за дерниной, подсев трав и борьба с сорняками.

В ряде случаев пастбища подвергают коренному улучшению. Под этим понимается создание засеянных сенокосов и искусственных пастбищ. Природный травостой перепашивают, на обработанной почве высеивают травосмеси и многолетние травы. В ряде стран разработаны нормы выпаса животных.

Сельские земли, так привлекательные для горожан в качестве мест отдыха и размещения дачных и садовых участков, все больше покидаются селянами, переезжающими в город. Всего за 15 лет, с 1980 по 1995 г., сельских жителей в мире стало больше примерно на 250 млн человек, общее число их достигло почти 2,5 млрд человек, хотя доля в общей структуре населения снизилась с 49 до 43 %. Мировой рост сельского населения осуществляется за счет развивающихся стран, где их отток в города все еще остается небольшим, а естественный прирост превышает прирост среди коренных городских жителей.

11.2. География населения и природные ресурсы

В территориальном распределении населения определяющую роль сыграли исторический, географический и отчасти религиозный факторы. В силу исторических причин, которые заключаются

в месте рождения и ближайшем расселении в районах с благоприятными природными условиями, Евразия и Африка, которые именуются Старым Светом, оказались более густонаселенными, а Северная и Южная Америка, или Новый Свет, и Австралия — слабозаселенными. Это было связано с тем, что изначально малочисленное аборигенное население, к тому же жестоко уничтожаемое западноевропейскими пришельцами, было колонизировано, а их территории заселялись только в последние несколько веков. Однако по своим природным условиям Северная и Южная Америка во многом превосходят Старый Свет вследствие меньшей континентальности, климата, а Австралия выглядит менее привлекательной из-за скудных водных ресурсов.

Согласно С. П. Горшкову (1998), имеются несколько критериев, по которым можно судить о пригодности континентов для ведения хозяйства. Первый критерий — средняя высота континента, которая служит показателем соотношения площадей низменных, т. е. более удобных для жизнедеятельности человека, и неудобных горных и платообразных.

Самыми низкими по рельефу являются Европа и Австралия. Их средняя высота над уровнем моря составляет всего 340 м. Далее по высоте следуют Южная Америка (540 м), Северная Америка (720 м), Африка (750 м) и Азия (960 м).

Другой критерий — степень низкоширотности и распространности многолетней мерзлоты. Около 2/3 площади России относится к криолитозоне, а в Северной Америке области многолетней мерзлых грунтов составляют около 1/4 территории.

Третьим критерием является степень аридности. Так, например, по отношению к общей площади аридные земли занимают около 83 % в Австралии, 59 % — в Африке, 38 % — в Азии, 10 % — в Северной Америке, 8 % — в Южной Америке и только 1 % — в Европе. Со степенью аридности напрямую коррелирует состояние водных ресурсов континентов (табл. 11.1).

Исходя из существующих данных, самая низкая водообеспеченность характерна для Австралии. Однако низкая степень заселенности этого материка и невысокая скорость прироста населения (табл. 11.2) позволяют отнести этот самый маленький материк к числу благополучных в геоэкологическом отношении с демографической точки зрения.

Водные ресурсы Африки явно недостаточны. На последнем месте по ресурсам воды находится Зарубежная Азия. Лучшее обеспечение водой Океания и Южная Америка, удовлетворительно — Северная Америка, Россия и Зарубежная Европа. Однако демографические проблемы сфокусированы именно в тех частях света, где недостаточная обеспеченность водой и мало удобных земель.

Анализируя вышеприведенные таблицы, С. П. Горшков приходит к выводу, что Зарубежная Азия и Африка — две части света с

Таблица 11.1

Общий континентальный сток и обеспеченность человечества
водными ресурсами

Континент и регион	Показатели			
	площадь, млн км ²	сток, тыс. км ³ /год	расход воды на человека, м ³ /год	слой стока, мм/год
Зарубежная Азия	29,30	11,0	3150	375
Южная Америка	17,83	10,4	32 298	583
Северная Америка	22,39	7,0	15 184	312
Зарубежная Европа	5,91	2,4	4138	406
Африка	30,31	4,2	5683	138
Россия	17,08	4,2	28 378	246
Океания	0,82	2,1	196 261	2560

бедными водными ресурсами, неудобным рельефом и высокой степенью аридности земель и к тому же они резко выделяются высоким приростом населения и низкой обеспеченностью пахот-

Таблица 11.2

Обеспеченность земельными ресурсами и население на различных
континентах за период с 1990 по 2000 г.

Континент и регион	Показатели			
	земельная площадь, млн га	население, млн чел.	землеобеспе- чение, га/чел.	в том числе пашня, га/чел.
Африка	2964	738,7	1,30	0,26
Азия	3085	3488,0	0,88	0,15
Южная Америка	1753	322,3	5,44	0,37
Океания и Австралия	849	28,7	29,58	1,85
Северная Америка	2137	461,2	4,64	0,60
Европа	571	580,7	0,99	0,27
Россия	1689	148,1	11,41	0,90
Всего	13 048	5767,0	2,32	0,26

ыми землями. Природное достоинство этих материков — обилие солнечного тепла.

В Северной и Южной Америке и особенно в России и Австралии Океанией людям гораздо просторнее. Однако в Северной Америке и России обеспеченность землями во многом связана с наличием трудно поддающейся освоению обширной криолитозоны.

Плотно заселена Западная Европа. Это часть света наиболее удобна для заселения, а исходя из высокого уровня жизни в большинстве стран она может служить эталоном для выведения некоторых средних показателей природно-ресурсной достаточности или определенного геоэкологического потенциала. Так, обеспеченность пашней на одного жителя Зарубежной Европы и Африки практически не отличается. Между тем продовольственная проблема в Африке является самой острой в мире в результате низкого уровня агропроизводства в большинстве африканских стран.

Для Зарубежной Азии характерны самые низкие показатели обеспеченности землей, пашней и водными ресурсами. Если бы не широчайшее развитие ирригации, население этой части света никогда не достигло бы столь высокой численности.

Только отдельные азиатские страны с обширными аридными территориями (Афганистан, Турция, Иран) сохраняют некие ресурсы пространства, тогда как остальные страны Зарубежной Азии при наличии безводных земель (Китай, Индия, Пакистан), так и при их отсутствии уже не дотягивают до уровня среднего европейского стандарта природно-ресурсной достаточности. Последняя составляет на одного человека 1 га сухопутной территории, 0,27 га пашни и 0,32 га лесных угодий. Эти показатели выше только у США, Мексики и Бразилии, а если рассматривать лесные земли как ресурс для увеличения пашни, то к ним надо добавить Китай, Индию, Индонезию, Иран, Турцию, Эфиопию и Заир, на территории которых можно допустить возможность освоения новых земель для растениеводства.

В течение последних десятилетий в Зарубежной Европе размеры пашни сократились. По последним данным, в странах Старого Света ресурсы территорий, удобных для расширения земледелия, в основном исчерпаны. Сведение лесов и распашка горных склонов в Непале, Эфиопии и некоторых странах Южной Америки сопровождаются развитием сильной эрозии почв и оползней, которые нередко принимают катастрофический характер.

Демографический взрыв в развивающихся странах — ныне главная угроза биосфере как системе жизнеобеспеченности. Это опасно для природных ресурсов тех стран, в которых антропогенное давление на земельные, водные и биологические ресурсы ведет к их быстрой деградации. В этом отношении серьезную опасность создают три социально-экономических фактора: высокая плотность населения, быстрый прирост его численности и низкий доход в

расчете на одного жителя. В настоящее время ученые всех стран озабочены снижением площади лесов, особенно в тропическом пространстве, так как в этом случае смывается и сдувается в недра пустыни больших размеров почвенный слой и снижается биоразнообразие.

11.3. Неустойчивая биосфера и устойчивое развитие

В течение последних десятилетий учеными разных направлений весьма интенсивно исследуются глобальные процессы, вызванные нарушением биогеохимических циклов, вторжением в климатическую систему и сокращением биоразнообразия в результате антропогенной деятельности. Это, так же как и проблемы лавинообразного прироста численности населения, дефицит продовольствия, голод и недостаток чистой питьевой воды со всей неотвратимостью поднимают вопрос о емкости биосферы и способности систем жизнеобеспечения продолжать выполнять свои функции в условиях растущего антропогенного пресса.

Как известно, прямые и обратные связи поддерживают гомеостаз. Это означает, что планетная биота управляет связями между атмосферой, Мировым океаном и верхней частью литосферы. Этим она поддерживает и сохраняет стабильность потоков вещества и энергии в биосфере. Гомеостаз имеет место только при определенном высоком уровне поглощения планетарной биотой солнечной энергии, возможен только при отсутствии экстремальных космических и планетарных воздействий на биосферу. Он основан на связях, разрушение которых носит триггерный характер. Это означает, что живая природа и многие биокосные образования, поддерживающие гомеостатичность биосферы, оказываются хрупкими, спонтанно разрушающимися в ходе нарушения экологического баланса силами органической природы. Дестабилизация биосферы возможна в результате воздействия трех сил: космической, геологической и антропогенной.

В результате исследований биосферы с точки зрения природной системы, осуществленной Г. Лавлоком (1982), который конкретизировал и несколько видоизменил представления В. И. Вернадского об организованности биосферы, а также В. Г. Горшкова (1995), который математически выразил идею Г. Лавлока о гомеостазе глобальной экосистемы, можно констатировать:

естественная биота Земли устроена таким образом, что она способна с высочайшей точностью поддерживать пригодное для жизни состояние окружающей среды;

огромная мощность продукции, достигнутая биотой, позволяет ей восстанавливать любые естественные нарушения окружающей среды в кратчайшие сроки, измеряемые десятками лет;

огромная мощность, развиваемая биотой Земли, таит в себе скрытую опасность быстрого разрушения окружающей среды за десятки лет, если целостность биоты будет нарушена. При этом установлено, что широкомасштабное окультуривание ландшафтов опаснее образования антропогенных пустынь;

биосфера в определенной степени способна компенсировать любые возмущения, производимые человечеством, но только в том случае, если доля его потребления не превышает 1% продукции биосферы;

современные изменения биосферы человеком, ведущие к выбросу биотой 2,3 млрд т/год углерода в атмосферу, свидетельствуют о переходе ее в неустойчивое состояние, о сильном нарушении глобальных биогеохимических циклов и о существенном подавлении дестабилизирующего равновесного состояния процессов ее естественного саморегулирования;

современное состояние биосферы в определенной степени обратимо. Она способна вернуться в прежнее состояние, имевшее место в прошлом веке, но для этого необходимо на порядок снизить потребление ее естественной продукции;

другого устойчивого состояния биосферы не существует, и при сохранении или росте степени антропогенной нагрузки устойчивость окружающей среды будет нарушена и биосфера начнет разрушаться;

из-за инерционности демографических процессов рост населения Земли до 8 млрд чел. неизбежен. Однако после стабилизации на этом уровне необходимо почти на порядок снизить число людей на планете путем планирования семьи, и только в этом случае дестабилизированная биосфера возвратится в устойчивое состояние саморегулирования в соответствии с принципом Ле Шателье, так как отторжение человеком ее продукции не будет превышать 1% (К. С. Лосев и др., 1993).

Таким образом, ведущие экологи однозначно свидетельствуют о том, что стихийно развивающаяся цивилизация вплотную подошла к порогу устойчивости биосферы. Главная опасность заключается в том, что антропогенные воздействия привели к нарушению процессов саморегулирования биогеохимических циклов. Поэтому человечество оказалось перед экологическим императивом: либо восстановление дикой природы на уровне XIX в. или даже несколько более ранних времен, либо конец света. Третьего не дано. Согласно В. Г. Горшкову, биосфера гомеостатична только в рамках условий дотехногенного голоцена и ей не свойственны другие устойчивые состояния. Однако этот вывод, сделанный на основе прямого приращения метода актуализма, требует определенных корректив. Вся история биосферы, начиная с самых ранних этапов ее возникновения и развития, — это непрерывная череда гомеостазисов и бифуркаций-катастроф (кризисов и революций).

До наших дней биосфера прошла сложный и нелегкий путь уло- жнения и ускорения. На ее долю выпадали самые разнообразные катастрофы, начиная от крупнейших космических и планетарных до региональных и локальных. Их развитие нередко ставило био- сферу на грань самоуничтожения и полного распада. Однако каж- дый раз благодаря внутренней энергии биосфера с честью выхо- дила из сложнейших ситуаций, и вновь возрождалась жизнь. Такие случаи в геологической истории многочисленны. Ярким примером может служить глобальный кризис биосферы, который произо- шел 65 млн лет назад. В результате столкновения Земли с крупным космическим телом (астероидом) возникла экологическая катаст- рофа. Изменились газовый состав атмосферы и температуры при- земной части воздуха и морских акваторий, на просторах суши начались масштабные лесные пожары и т.д. Взрыв космического тела массой в несколько сотен миллиардов тонн и диаметром око- ло 10 км сначала вызвал значительный подъем приземных темпе- ратур в результате пожаров, а затем — похолодание, похожее на «ядерную зиму».

Нарушение природного баланса было настолько значительно, что привело к гибели крупных наземных позвоночных, в том чис- ле и динозавров. Органический мир Земли лишился почти всего лесного покрова. Исчезли все головоногие моллюски (аммониты и белемниты), все семейства планктонных организмов, кораллов и мшанок, 75 % семейств брахиопод, такое же количество двуствор- чатых и брюхоногих моллюсков и других организмов. Однако через сравнительно недолгое время, спустя 3—5 млн лет, органическая жизнь на Земле возродилась.

Между тем эта космическая катастрофа была все же не самой крупной в истории Земли. В течение последних 800 млн лет геоло- гической истории подобных космических катастроф насчитывает- ся 21. Это не только прямые удары и взрывы астероидов, но паде- ния комет или их пролеты вблизи Земли. Все это фиксируется в истории развития органического мира и отмечено крупными ру- бежами геохронологической шкалы. Не упав на Землю астероид 65 млн лет, не произошли в это время космическая бомбардиро- вка, неизвестно, сколько миллионов лет могла продлиться эпоха жизни динозавров. А ведь экологическую нишу динозавров после их исчезновения заняли млекопитающие, эволюция которых при- вела к появлению *Homo sapiens* и к тому, что в настоящее время происходит с биосферой.

Среди планетарных процессов надо отметить региональные по масштабам и глобальные по степени воздействия вулканические извержения, гигантские процессы столкновения литосферных плит и такие скромные по сравнению с ними процессы, как великие оледенения и межледниковья. Правда смена ледниковых периодов межледниковьями, так же как и резкие понижения температур,

вызавшие появления оледенений, могли быть результатом кос- мических причин, в частности связанных с прилетом комет, и с астрономическими циклами.

Связь четвертичных ледниковых эпох и межледниковой с аст- ромическими циклами М. Миланковича в настоящее время общепризнана. Этот ученый связывает наступление ледниковых эпох с изменениями трех параметров земной орбиты: эксцентриситета, т.е. степени отклонения орбиты от круговой, наклона земной оси (угла между осью и перпендикуляром к плоскости орбиты) и вре- мени прохождения Земли перигелия, т.е. моментом наиболее близ- кого расположения Земли от Солнца. На каждый из перечислен- ных параметров влияет притяжение Луны и других планет. Эксцен- триситет достигает максимальных значений через каждые 92 тыс. лет, циклы колебаний наклона земной оси и времени прохожде- ния перигелия периодически повторяются через каждые 41 тыс. и 21 тыс. лет соответственно.

Конечным результатом изменений положения Земли на орбите по отношению к Солнцу являются циклические изменения лет- ней инсоляции в высоких широтах в условиях относительного по- стоянства радиационного баланса в целом. В высоких широтах та- кого изменения достаточно для существенного снижения средне- годовых температур, которые влекут за собой появление и само- развитие ледниковых покровов на равнинах и плоскогорьях и гор- ных ледников. В свою очередь, такие огромные по масштабам из- менения напрямую дестабилизируют биосферу, которая каждый раз прилагает огромные усилия по дополнительному расходу энер- гии и вещества для того, чтобы вначале приспособиться к возни- кающим непривычным обстановкам, а затем выйти из создавших- ся кризисных или критических ситуаций.

В геологической истории Земли гляциоэры разной продолжи- тельности происходили по крайней мере шесть раз, и каждый раз рост криосферы суживал развитие биосферы и нарушал ее гомео- стаз. Нарушался не только температурный режим земной поверх- ности, который вызывал миграции или изменения в образе жизни животных и растений. Он приводил в том числе и к существенно- му сокращению биомассы, а значит, нарушал биологический кру- говорот веществ. Нарушался и гидрологический цикл. В леднико- вые эпохи снижался влагообмен между океаном и атмосферой, падало содержание влаги в атмосфере, а значит сокращалась со- ставляющая парникового эффекта. Вследствие развития криосфе- ры на значительных площадях существенно увеличивалось альбе- до земной поверхности и снижался радиационный баланс, а все это еще больше усиливало эффект выхолаживания планеты.

Активный вулканизм, особенно при значительном выбросе пирокластического материала в атмосферу, определенным обра- зом снижал альбе- до атмосферы, но выброс значительных коли-

честв углекислоты, наоборот, способствовал усилению парникового эффекта.

Как в случае отрицательного (выхолаживание), так и положительного развития планетарных событий, когда появлялось большее число благоприятных для жизнедеятельности организмов ландшафтов, биосфера успешно справлялась с возникавшими трудностями и продолжала развиваться.

Однако совершенно другой сценарий возможен при антропогенном воздействии, если фактором деструкции станет криогенно-гляциальное воздействие, вызванное человеком. Оно может возникнуть при ядерном конфликте и масштабном использовании ядерных устройств. Это вызывает явление, описанное как «ядерная зима». В этом случае нарушится энергообеспеченность Земли, а криосфера получит планетарное распространение, т.е. Земля может превратиться в новую ледяную планету.

Сравнения современных условий с палеогеографическими, т.е. с физико-географическими условиями геологического прошлого, свидетельствуют о том, что современная дестабилизация биосферы хотя и уникальна по происхождению, но далеко не первая. Однако это вовсе не означает, что биосфера даже в ее современном состоянии способна перенести еще более серьезные воздействия со стороны современной цивилизации.

Современная ситуация необычна еще и тем, что она накладывается на условия природного гомеостаза в биосфере, и поэтому ее развитие может считаться однонаправленным. Явления как дестабилизирующего, так и благоприятно развивающегося характера дают некоторую стабилизацию в развитии, но главное заключается в том, какие явления переселят.

В современной биосфере экологические ресурсы восстанавливаются не полностью. Однако биосфера обладает еще одним уникальным качеством. Находясь в дестабилизированном состоянии, она не полностью утрачивает свои экологические функции. Живое вещество способно аккумулировать рассеиваемую неорганическими источниками энергию и при этом перераспределять ее вновь в окружающее пространство таким образом, что косная среда, в основном неорганическая, превращается в фактор прогрессивного увеличения функционального и статического потенциала живой природы. Работая на себя, живое вещество меняет действие процессов в неживой природе (С. П. Горшков, 1998). Таким образом, в биосфере происходят процессы, восстанавливающие гомеостаз.

Со времени своего возникновения биосфера постоянно взаимодействует с Космосом. Это взаимодействие вытекает из длительности развития биосферы, которая существует на Земле почти 4 млрд лет, и постоянного увеличения биоразнообразия и биологических функций живого вещества.

Эти два фактора свидетельствуют об удивительной устойчивости биосферы, об определенной ограниченности масштабов воздействия на биосферу неорганической природы, об ускорении космического воздействия на биосферу, по крайней мере в течение фанерозойской истории. По мнению ведущих экологов, для выработки научно обоснованной стратегии устойчивого развития и оптимальных условий выживания человечества необходимо установить следующие приоритеты (С. П. Горшков, 1998):

высший — эколого-экономическая оптимизация природно-антропогенных и антропогенных систем. От успехов реализации высшего приоритета зависит и решение демографической проблемы; высокий — охрана природных систем и биоразнообразия.

В условиях сочетания демографического, социально-экономического и экологического кризисов должны быть более приоритетными цели, защищающие человека и природу одновременно.

11.4. Доктрина устойчивого развития России

Главным и одновременно приоритетным направлением развития мировой цивилизации в настоящее время является переход к устойчивому развитию, которое определяется введением хозяйственной деятельности в пределы существующих емкостей экосистем любого ранга.

Экологическая устойчивость. В условиях экологической устойчивости, равновесия и гармоничности цивилизация развивалась 99 % времени своего существования. За это время произошла смена одних общественных строев другими, стоящими на более высоких ступенях развития. Родовой строй сменился рабовладельческим, затем феодальным и, наконец, гражданским обществом. Эта смена происходила на фоне увеличения численности населения, неуклонного развития науки, нарастания научно-технического прогресса и ускоренного роста экономики. Этот непрерывный рост показал, что естественные экосистемы способны выдерживать достаточно высокую нагрузку антропогенной деятельности в сочетании с возникающими природными катаклизмами и дестабилизацией природной среды.

Первая глобальная дестабилизация окружающей среды началась на рубеже XIX и XX вв. с возникновением новых, до того времени неизвестных производств, существенно загрязняющих природные воды и атмосферу химическими соединениями. В это время численность населения составляла 1,6 млрд человек, а мощность его хозяйства — 1 ГВт (10^{12} Вт). Последнее составляет около 1% мощности биоты, которая обладает энергией 100 ГВт. В результате антропогенного воздействия были разрушены частично или полностью около 20 % территории суши.

В течение XX в. численность населения, его энерговооруженность и хозяйственная деятельность устойчиво нарастали, но этот рост происходил в условиях глобальной экологической неустойчивости, в условиях быстрых изменений окружающей среды. При этом то и дело возникали разнообразные локальные проблемы и среди них проблемы как антропогенного характера, вызывающие региональные и локальные загрязнения, так и природного, в частности, стихийные катастрофы.

Исходя из этого понятия «устойчивое развитие» и «экологически устойчивое развитие» не являются эквивалентными. Устойчивое развитие, по мнению К. С. Лосева, далеко выходит за рамки экологии, но без экологической устойчивости не может быть дальнейшего устойчивого развития цивилизации. Предусматривается, что любая страна, в том числе и Россия, при любом подходе к концепции или стратегии устойчивого развития должна в первую очередь оценить степень нарушенности экосистем, уровень потребления чистой первичной продукции и энергетические хозяйственные нагрузки на своей территории.

Для того чтобы достичь устойчивого развития, Россия должна преодолеть собственную экологическую уязвимость, обеспечить себе экологически безопасное развитие и существенно повлиять позитивным образом на глобальные процессы, базируясь на переходе к инновационной экономике и таком использовании природоресурсного потенциала, которое позволяет обеспечить экономическое развитие страны на основе оптимального ресурсопользования, оздоровления и сохранения окружающей среды.

В настоящее время экологическая уязвимость территории России, истощение ее природных ресурсов и чрезмерные экологические риски в основном обусловлены преимущественным развитием природоэксплуатирующих, в том числе топливно-энергетических, отраслей промышленности при слабом развитии интеллектуальноемких производств и глубокой переработки природных ресурсов, использованием территории России в качестве объекта для захоронения и переработки опасных для окружающей среды веществ, высокой степенью изношенности основных фондов производства и элементов инфраструктуры, недостаточно высокой исполнительской дисциплиной по отношению к требованиям законодательства, необходимостью существенного совершенствования правового пространства.

Нарушенная в XX в. экологическая устойчивость проявляется в виде направленных изменений концентрации биогенов во всех природных средах, росте площади разрушенных и сильно деформированных естественных экосистем, интродукции и инвазии чужеродных видов и сокращения видового биоразнообразия.

Потенциал экологической устойчивости России. На 65 % территории России располагаются слабо нарушенные или не нарушен-

ные экосистемы, значительная часть которых представлена лесами. Общая площадь не нарушенной хозяйственной деятельностью восточносибирской тайги занимает площадь около 6 млн км². Более 1 млн км² охватывают водно-болотные территории (ветланды), которые по своей продуктивности приближаются к лесным экосистемам. Около 2,8 млн км² занимают южные и высокоарктические тундры. Частично массивы девственных лесов и южных тундр сохранились на европейской части России. Однако это обстоятельство ни в коей мере не должно успокаивать. Существенное снижение природного потенциала выявляется при сравнении современных площадей с естественными экосистемами с площадями, существовавшими в начале XX в. Разница составляет 15 % (соответственно 65 и 80 %). Это однозначно свидетельствует о сдвиге окружающей среды России в сторону неустойчивости.

Более точный критерий оценки устойчивости окружающей среды — оценка потребления доли «чистой» первичной продукции на суше. Величина первичной биологической продукции — это общее количество органического вещества, создаваемого в ходе фотосинтеза за единицу времени (обычно за год) на определенной площади. «Чистая» первичная биологическая продуктивность представляет собой общую биопродуктивность за вычетом расходов синтезированного органического вещества на дыхание растений. Общеземная 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 430 г/м², или 43 ц/га. Средняя для свободной от ледников суши удельная продуктивность органического вещества равна 1000 г/м², или 100 ц/га. Для океана эта величина составляет всего лишь 250 г/м², или 25 ц/га. По данным К. С. Лосева и соавторов (1993, 2001), доля потребления и снижения «чистой» первичной продукции в России гораздо меньше, чем в мире. Она намного ниже и по сравнению с сопредельными территориями. Доля России в потреблении и снижении «чистой» первичной биологической продукции в мире составляет 0,175 мирового потребления. Европа без России потребляет «чистой» первичной продукции вдвое больше среднемирового уровня, Китай — в 1,25 раза, Япония — почти в 2 раза, а Индия — в 2,4 раза. Самым высоким уровнем потребления «чистой» первичной продукции обладают Нидерланды, в которых потребление превышает среднемировой уровень в 2,7 раза.

Данные о потреблении и снижении «чистой» первичной продукции на территории России подтверждают сохранность достаточно высокого потенциала экологической устойчивости в стране, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке, но в то же время имеется существенное отклонение от устойчивости на территории европейской части и Уральского региона. Надо учитывать и тот

факт, что потребление доли «чистой» первичной продукции тесно связано с плотностью населения.

Обеспечение потенциала экологической устойчивости. Обеспечить экологическую устойчивость в отдельно взятой стране или на отдельной территории практически невозможно, так как окружающая среда глобально нарушена и ее восстановление можно осуществить только в масштабах всей планеты. Но для того чтобы поднять общий уровень экологической устойчивости в планетарном масштабе, необходимо поднимать ее в региональном, введя хозяйственную деятельность на отдельных территориях в пределы естественной емкости экосистем.

Изменения окружающей среды для всех форм жизни — это прежде всего изменения концентрации биогенов. При внешних воздействиях, которые возмущают окружающую среду, баланс потребления видов организмов сдвигается в направлении, компенсирующем это возмущение и возвращающем окружающую среду в прежнее стационарное состояние.

Механизм компенсации состоит в направленном отклонении от замкнутости круговорота биогенов на основе обратных связей. Поэтому неустойчивой является окружающая среда, в которой идут направленные изменения концентрации биогенов и биота не выполняет принцип Ле-Шателье. Устойчивой является такая окружающая среда, в которой концентрации биогенов за длительный отрезок времени стабильны и изменяются только в пределах естественных колебаний.

Наилучшие стартовые условия для возрождения устойчивого экологического потенциала сохранились в двух крупнейших государствах северного полушария — России и Канаде. Нигде в мире больше нет таких крупнейших естественных лесных массивов и ветландов. К примеру, площадь ненарушенных тропических лесов в Бразилии вдвое меньше, чем лесов в Канаде, и в четыре раза меньше, чем в России. Исходя из этого только две страны в мире могут быстро и относительно безболезненно обеспечить возрождение своего экологического потенциала.

Восстановление естественных экосистем — необходимое условие устойчивого экологического развития, которое обеспечит также выход из экологического кризиса, выживание человечества и создаст предпосылки для экономического, социального и демографического устойчивого развития.

Таким образом, важнейшими задачами современного этапа являются:

- сохранение существующих территорий с естественными экосистемами в каждой стране и сохранение чистоты Мирового океана;
- оценка необходимого объема восстановления;
- постепенное расширение территорий с естественными экосистемами.

Интенсивность и объемы воздействия на природную среду зависят от численности населения. Народонаселение представляет собой важнейший геоэкологический фактор. Городское и сельское население по-разному воздействуют на природную среду и природные ландшафты. Важное значение имеет географический фактор расселения. На разных материках воздействие населения на природную среду осуществляется с различной степенью интенсивности. Материки обладают различным геопотенциалом. В современную эпоху стихийно развивавшаяся цивилизация подошла к границе устойчивости биосферы. На протяжении всей истории биосфера показывала свою необычайно высокую степень устойчивости. Несмотря на сильнейшие планетарные и космические факторы и процессы, она выводила нашу планету из кризисного состояния. Экологическая устойчивость России заключается в преодолении ее экологической уязвимости и обеспечении экологической безопасности.

Контрольные вопросы

1. На чем основано представление о важности населения как геоэкологического фактора?
2. Каковы положительные и отрицательные стороны сельскохозяйственного производства?
3. Какое воздействие оказывают городские и сельские жители на природные ландшафты?
4. Каковы основные закономерности географии населения?
5. Что такое гомеостаз?
6. В чем заключается неустойчивость и устойчивость биосферы?
7. Что понимается под устойчивым развитием?
8. Как связаны циклы Миланковича с климатическими колебаниями?
9. Что такое «ядерная зима» и «астероидная зима»?
10. На чем основано положение об устойчивости России?

Литература

- Лосев К. С., Горшков В. Г. и др.* Проблемы экологии России. — М., 1993.
Лосев К. С. Экологические проблемы и перспективы устойчивого развития России в XXI веке. — М., 2001.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМ

За всю историю существования человеческих цивилизаций рядом с природными или внутри них возникали новые системы антропогенного характера — разнообразные городские и сельские поселения, сельскохозяйственные и лесопромышленные зоны, транспорт и транспортные коммуникации, энергетические системы, горнодобывающие и горнорудные предприятия, промышленные предприятия, рекреационные системы и др.

Антропогенные системы существенно преобразовали природные условия как на отдельных территориях, так и в региональном масштабе, повлияли на окружающую среду. Но с течением времени степень их воздействия существенно менялась: более слабыми эти воздействия были в античные века, в средневековье, но начали усиливаться с эпохи Возрождения. Особенно сильными и прогрессирующими они стали со времени промышленной революции.

В связи с двойственностью воздействия природно-антропогенных систем возникают соответствующие геоэкологические проблемы. Они несут в себе как естественно-природные, так и антропогенные черты. Геоэкологические условия всех городов с высоко развитыми горнопромышленными производствами похожи друг на друга, но могут отличаться природными характеристиками. Например, природные условия таких горнопромышленных регионов, как Кольский полуостров или Урал, совершенно иные, чем Бразилии или любого региона Африканского континента.

12.1. Геоэкологические особенности урбанизации

Начиная с конца XIX в. на первый план общемировых проблем выдвинулась урбанизация, или быстрый рост городов и городского населения. Этот процесс влечет за собой глобальные качественные изменения природной среды, усиливая антропогенную нагрузку как на территории, занятой самим городским поселением, так и на территории ближайших и отдаленных пригородов.

Среди множества определений города наиболее близким и понятным для геоэкологов может быть понятие, которое определяет город как крупный населенный пункт, выполняющий промышленные, организационно-хозяйственные, управленческие, культурные, транспортные и иные функции, исключая сельскохозяйственные. Сложный комплекс города с пригородами, где находятся и сельскохозяйственные населенные пункты, представляет собой городскую агломерацию. Несколько близко расположенных агломераций называют мегаполисом.

Согласно Н. Ф. Реймерсу, малыми городами считаются населенные пункты с населением 10—50 тыс. жителей, средними — 50—100 тыс., крупными — 100—500 тыс. и крупнейшими — более 500 тыс. жителей.

Первые города появились в VI тысячелетии до н. э. в долинах рек Хуанхэ, Меконг, Ганг, Тигр и Евфрат. Во II тысячелетии до н. э. основаны Афины и Вавилон. Уже в VII в. до н. э. в Вавилоне проживало около миллиона человек, в IV в. н. э. в Риме насчитывалось более двух миллионов жителей. Число городов и городских жителей после промышленной революции стремительно растет. Если в самом начале XIX в. число горожан составляло всего около 5 % жителей Земли, то в начале XX в. их доля от числа жителей мира составила 20 %, в 1980 г. — почти 50 %. В конце XX в. городское население увеличивалось со скоростью 2,5 % в год, тогда как сельское — всего лишь на 0,8 %.

Быстро растут городские поселения, а также увеличивается число городов-гигантов — мегасити. Если в 1950 г. в мире было всего два города-гиганта — Нью-Йорк (12,3 млн жителей) и Лондон (7 млн жителей), то в конце XX в. имелось уже 23 города с численностью более 8 млн жителей:

1. Токио (Япония)	27,0
2. Мехико (Мексика)	16,6
3. Сан-Паулу (Бразилия)	16,5
4. Нью-Йорк (США)	16,3
5. Бомбей (Индия)	15,1
6. Шанхай (Китай)	13,6
7. Лос-Анджелес (США)	12,4
8. Калькутта (Индия)	11,9
9. Буэнос-Айрес (Аргентина)	11,8
10. Сеул (Южная Корея)	11,6
11. Пекин (Китай)	11,3
12. Осака (Япония)	10,6
13. Лагос (Нигерия)	10,3
14. Рио-де-Жанейро (Бразилия)	10,2
15. Дели (Индия)	9,9
16. Карачи (Пакистан)	9,7
17. Каир (Египет)	9,7

18. Париж (Франция)	9,5
19. Тяньцзинь (Китай)	9,4
20. Манила (Филиппины)	9,3
21. Москва (Россия)	9,3
22. Джакарта (Индонезия)	8,6
23. Дакка (Бангладеш)	8,5

Городское население растет не только в развивающихся странах. Регионами со значительными темпами роста городского населения являются города, расположенные в мягком и теплом климате и в странах с благоприятной экономикой. К числу их относится территория северо-запада США (штаты Вашингтон, Орегон и Калифорния). Текущий ежегодный прирост жителей этого региона составляет 12 % и обусловлен как миграцией из других районов США, так и иммиграцией из стран тихоокеанского региона.

В России площадь городов в середине 90-х годов XX в. составляла 5,5 млн га, или 0,33 % сухопутной территории. В то же время в таких европейских государствах, как Великобритания, Дания, Германия, Бельгия, Нидерланды, урбанизированные земли занимают территорию от 8 до 15 % общей площади.

Города в основном растут вширь, захватывая и преобразуя продуктивные сельскохозяйственные и лесные земли. Ежегодно из-за урбанизированного вторжения под города и городские коммуникации отводится несколько миллионов гектаров продуктивных земель.

Для всех городов, численность населения которых превышает 50 тыс. человек, характерна полифункциональность. Здесь превращаются в промышленную продукцию сырье и полуфабрикаты. Необходимое условие функционирования городов — снабжение их большим количеством воды и энергии. В городах расходуется огромное количество топлива. Полезные ископаемые, добываемые из литосферы, превращаются в застройку, транспорт, свалки и др.

В настоящее время помимо отдельных крупных городов возникают и так называемые конурбации, или скопления крупнейших городов. Так ныне происходит в Японии и США. В Японии на о. Хонсю городская застройка практически непрерывно тянется от г. Токио до г. Кобе на расстояние более 50 км. Она захватывает второй по величине город Японии Осаку, крупнейший порт страны Нагоя и другие города численностью более 1 млн человек.

На восточном побережье США конурбация захватывает территорию от Вашингтона до Бостона и включает такие крупнейшие города, как Нью-Йорк, Филадельфия, Балтимор и др.

Степень антропогенных преобразований природной среды в рамках городских территорий чрезвычайно высока. Городские ландшафты, в какой-то мере сходные с природными, весьма примитивны: парки, скверы, в значительной степени реже лесопарки.

обережья озер и морей, а также своеобразные террасы рек. В столь простых и часто примитивных экосистемах сохранились отдельные виды птиц и животных, паразитирующих на отходах деятельности человека. В меньшей степени изменяется литогеническая основа городской территории и в какой-то степени климат, хотя климат в центральных частях мегаполисов существенно отличается от климата пригорода. В центре города из-за повышенного выброса теплового потока среднегодовые температуры на 2—5 °С выше, чем в пригороде.

Как и любой искусственно созданный ландшафт, городская территория не может долгое время сохраняться в устойчивом состоянии без постоянной поддержки человека. Зброшенные или малоухоженные кварталы мегаполисов быстро разрушаются и представляют собой прекрасный пример антропогенно созданной «городской пустыни».

Сами природные условия, в которых располагаются города, во многом определяют геоэкологические проблемы территории, а города только их ухудшают. Загрязнение воздуха, характерное для зимнего времени в городах Западной Европы, Сибири, Северо-Восточного Китая, возникает благодаря инверсии температуры, вызывающей устойчивую стратификацию воздуха (см. гл. 6). Весьма высокое загрязнение воздуха в городах Лос-Анджелес, Мехико и Сантьяго, что является примером развития смогов и даже послужило основой для их классификации.

В городских условиях кроме состояния атмосферного воздуха серьезную геоэкологическую проблему создают качество воды и очищение канализационных стоков. В настоящее время многие крупные города не в состоянии справиться с продуктами жизнедеятельности. Загрязнения поступают не только в поверхностные, но и подземные воды, в водопроводную систему, что представляет серьезную опасность при водоснабжении. К этому необходимо добавить функционирование системы сбора и переработки твердых бытовых и промышленных отходов. В результате возникает обстановка, опасная для жизнедеятельности и здоровья жителей городов.

Согласно современным данным, около 250 млн жителей городов развивающихся стран не имеют источников пригодной для употребления питьевой воды. Более 450 млн человек, живущих в городах, не имеют доступа к простейшим туалетам. От 30 до 65 % городского мусора не убирается и в некоторых городах скопления мусора напоминают свалки.

Городские системы потребляют, перерабатывают и превращают в отходы значительную массу воды, продовольствия и топлива. Чем выше уровень развития страны, тем выше потребляемые услуги систем жизнеобеспечения. По степени потребления услуг различаются не только города развивающихся и развитых стран, но и

даже районы в пределах одного города. Последнее зависит от уровня благосостояния жителей района.

Городские центры некоторых государств оказывают негативное геоэкологическое воздействие на прилегающие территории. Например, в некоторых странах Африки население готовит пищу с использованием дров, поэтому все существующие лесные ресурсы в радиусе 50—80 км от крупных городов истощены. В результате энергетического кризиса в Ереване многие деревья в черте города и в городских скверах были уничтожены и использованы для обогрева жилищ и приготовления пищи. Точно так же поступают в зимнее время жители многих городов России при отключении электроэнергии и газового снабжения.

Растительность уничтожается не только ради получения тепла, но и для функционирования предприятий промышленности и энергетики. Так, например, в Норильске и в его окрестностях весьма уязвимая растительность практически уничтожена на расстоянии до 100 км от промышленных предприятий. Особенно далеко протянулись полосы уничтоженной растительности вдоль преобладающих направлений ветра.

Все крупные города, располагающиеся на берегах рек, вносят заметное количество загрязнений в воды. Мест загрязнения настолько много, а размеры их настолько велики, что полностью уничтожается жизнь в водных артериях на многие километры вниз по течению.

В то время как крупнейшие промышленные центры и мегаполисы и особенно конурбации в результате деятельности городского населения и своего географического местоположения способны причинить региональный геоэкологический ущерб, то несколько сотен крупных городов мира и тысячи более мелких вызывают локальное ухудшение состояния окружающей среды. Однако их суммарный эффект также оказывает значительное воздействие на глобальную ситуацию.

12.2. Управление водными ресурсами

Эта проблема особенно актуальна для городских территорий и крупных промышленных центров. В городах этот вид хозяйственной деятельности основан на жесткой регламентации качества воды, подаваемой в водопроводную сеть и предназначенной для питьевого водоснабжения, а также на экономном расходовании воды, предназначенной для бытовых нужд на промышленных объектах. Вода может быть использована для питьевых целей при условии, если после очистки ее качество соответствует утвержденному ГОСТу. По ГОСТу величина сухого остатка воды не должна превышать 1000 мг/л, содержание сульфатов — 500 мг/л, хлоридов — 350 мг/л,

величина общей жесткости должна соответствовать 7 мг/л, запах и привкус при температуре 20 °С — не выше 2 баллов, кишечных палочек в 1 л воды не должно содержаться более 10 000. Но даже и в этом случае вода, предназначенная для питья, должна подвергаться очистке и хлорированию.

Для управления водными ресурсами пользуются такими показателями, как ПДК, т. е. предельно допустимые концентрации того или иного вещества; ПДС, — предельно допустимый сброс веществ в водный объект и БПК — биохимическое потребление кислорода. Чем выше БПК, тем больше в воде легко растворимых загрязняющих органических веществ.

Водохозяйственные службы городов стремятся к максимальной возможной канализации стоков. Под системой канализации принято понимать совместное или раздельное отведение трех категорий сточных вод: бытовых (хозяйственно-фекальных), производственных и атмосферных.

Категорически не допускается сбрасывать в воды ядовитые вещества или вещества, способные выделять взрывчатые газы, стоки предприятий тяжелой промышленности, черной и цветной металлургии, горнообогатительных предприятий, машиностроительных и химических комбинатов. Сточные воды некоторых предприятий пищевой промышленности в канализационные системы принимаются только после предварительной обработки и обеззараживания. Не принимаются в коммунальные канализации производственные сточные воды, содержащие жиры, масла, смолы, бензин, нефтепродукты и др.

Очистка бытовых сточных вод осуществляется механическим, химическим и биологическим методами. При механическом методе очистки применяют решетки, сита, песколовки, маслоловушки, смолоуловители, отстойники, с помощью которых улавливаются нерастворимые механические примеси.

Химическая очистка заключается в добавлении к сточным водам таких реагентов, которые способствуют выпадению нерастворимых, коллоидных и частично растворенных веществ, а некоторые из них переводятся в безвредные соединения. Для осуществления химической очистки сточных вод используют смесители, камеры реакции и отстойники.

Биологическая очистка заключается в минерализации органических загрязнений сточных вод, находящихся в виде тонкодиспергированных нерастворимых и коллоидных веществ, а также в растворенном состоянии. После биологической очистки сточные воды обеззараживают жидким хлором или хлорной известью.

Большой объем воды расходуется для повторного разбавления очищенных стоков. В целях экономии свежей воды и снижения расходов на очистку сточных вод используют три направления: создание безотходных, безводных и бессточных технологий. Безотход-

ная технология — высшая форма технологических методов очистки, она только разрабатывается.

Хотя безводная технология очистки существенно снижает расходы и сбросы загрязненных вод в водоемы, но и при этом происходит загрязнение атмосферы, а через нее и самих водоемов.

В настоящее время в большинстве отраслей промышленности постоянно ведутся поиски водосберегающих технологий. Ввиду того что очистка некоторых сточных вод весьма дорога, встает вопрос о возможной их утилизации. Для этого сточные воды закачивают в подземные горизонты. Однако в этом случае должна быть полная уверенность в том, что сточные воды не будут смешиваться с подземными водами и в дальнейшем попадать вместе с ними на поверхность.

12.3. Управление геологической средой

Существуют три формы управления геологической средой. Во-первых, это изучение конечных результатов процессов экзо- и эндодинамики, их мониторинга и прогнозов. Во-вторых, это осуществление разнообразных мероприятий по освоению и рациональному использованию подземного и наземного геологического пространства и, в-третьих, это управление деятельностью горно-рудных предприятий.

Эколого-геологический мониторинг. Понятие мониторинга окружающей среды впервые было предложено в 1972 г. на Стокгольмской конференции ООН. Под ним понимается система повторных наблюдений за одним или более элементов окружающей природной среды в пространстве и во времени с определенными целями и задачами. В последние годы в понятие «мониторинг» стали включать не только систему наблюдений, но и оценку и прогноз антропогенных изменений состояния окружающей среды. Выделяют несколько видов эколого-геологического мониторинга: эколого-геологический мониторинг городских агломераций, районов горно-рудных предприятий, районов гидротехнических сооружений, районов сельскохозяйственного и гидромелиоративного освоения, районов АЭС и тепловых гидростанций, транспортных магистралей и сооружений (В.Г. Трофимов и др., 1997). В зависимости от ранга организаций (государственный или ведомственный) масштаб исследований по мониторингу может быть разным — от местного (детальный), регионального, национального и до глобального уровня. Существуют простые и сложные системы мониторинга. Примером сложной или комплексной системы может служить система геосферного мониторинга, в состав которого входят мониторинг атмосферы, гидросферы, биосферы, литосферы, геологической среды и техносферы.

Назначение эколого-геологического мониторинга конкретизируется в его целевой программе. В нее входят оценка состояния и прогноз развития неблагоприятных явлений в геологической среде, например оползней, провалов, подмыв берегов, подтопление, оседание, загрязнение подземных вод. В последние годы в сферу мониторинга подключены исследования по поведению отдельных элементов или их групп в геологической среде.

Система эколого-геологического мониторинга является важной составной частью и одновременно служит инструментом оптимизации различных этапов хозяйственной деятельности: планирования, строительства, эксплуатации и управления. На основе данных мониторинга создаются прогнозные модели геологической среды, которые широко используют для оптимального решения различных эколого-геологических задач. Эти исследования и модели позволяют определять допустимые техногенные нагрузки на верхние горизонты литосферы, оценивать эффективность и целесообразность применения различных методов освоения территорий и их застройки.

Использование подземного пространства. Земные недра с далеких времен служат человеку в качестве объекта, предоставляющего не только комфорт и благосостояние, но и территории, дающей дополнительное жизненное пространство. Это не только пространство, в котором ведется добыча полезных ископаемых шахтным способом, но и территории, где размещаются транспортные магистрали (туннели, линии и станции метро), крупные подземные промышленные комплексы, огромные хранилища нефтепродуктов и сжиженных газов, машинные залы электростанций, гаражи, грибные плантации, винные хранилища (винные погреба), спортивные залы, санатории и лечебницы, хранилища золота и драгоценностей и др. Однако пока используемые подземные хранилища строятся только до глубин 220 м.

Широко используют для различных целей бывшие подземные разработки. Заброшенные штреки и стволы шахт, известные под названием катакомб, занимают значительные пространства под такими городами, как Одесса, Рим и Париж.

Большой экономический эффект дает использование естественных подземных объектов для производственных и военных целей. В подземных пространствах размещают не только военную технику, в том числе ракеты и самолеты, но и некоторые предприятия военно-промышленного комплекса, а также ряд заводов оборонного значения. В созданных руками человека подземных хранилищах складывают взрывчатые, токсичные и радиоактивные вещества, они служат резервуарами для аккумуляции нагретых вод или сжатого воздуха. Накопление нагретых вод обычно ведется при избыточной выработке тепловой или электрической энергии различными установками.

Управление отходами. Любые отходы являются потенциальным сырьем до тех пор, пока не начата их переработка. Возникающие в процессе хозяйственной деятельности отходы длительное время складировали в определенных местах. Однако с ростом объема производства и разработкой новых технологий извлечения полезного компонента из отходов стала целесообразной их переработка, тем более что длительное хранение отходов в форме отвалов или промышленных и бытовых свалок с течением времени приводит к возникновению токсичных веществ и сильному загрязнению почвенных и подземных вод и атмосферного воздуха. Существующие методы обезвреживания отходов можно объединить в три группы (С. П. Горшков, 1998).

1. *Ликвидационные методы*, используемые исключительно с целью изолировать и по возможности уничтожить увеличивающееся количество отходов без извлечения полезного вторичного сырья. Ликвидация на свалках различных отходов — самый распространенный способ удаления и изоляции отходов. Существуют как открытые свалки, так и закрытые многоярусные с земляным покрытием. В ряде случаев свалки устраивают для сглаживания рельефа. Отходы используют в качестве засыпки оврагов, котловин, балок и даже для наращивания площади за счет засыпки подтопленных территорий и на прибрежных частях морских акваторий. Широко используют заполнение отходами заброшенных шахт, горно-геологических канав, рудников и открытых карьеров. Все шире внедряется сжигание отходов, однако такой способ сильно загрязняет воздушную среду. Иногда отходы, в том числе и бытовой мусор, сваливают в определенных местах на дно внутриконтинентальных водоемов и в прибрежной части морей и океанов.

На морское дно в значительных объемах сбрасывается грунт, получаемый при землечерпательных работах для очистки фарватера и гаваней. Такой грунт сильно загрязнен различными органическими веществами и тяжелыми металлами. По примерным подсчетам загрязненный грунт составляет около 80 % всех сбрасываемых в море отходов. Остальные 20 % составляют строительный мусор, отстой сточных вод, различные промышленные отходы. Ряд приморских государств обладает большим положительным и негативным опытом по сбросу сточных осадков в морские акватории. Так, за столетие (1888—1998 гг.) в Нью-Йоркской бухте было затоплено более 250 млн м³ отходов. В результате этого на дне в некоторых местах возникли подводные возвышения высотой до 15 м.

2. *Частично ликвидационные методы* предусматривают сортировку отходов на специализированных заводах и выделение наиболее легко утилизируемых категорий мусора. Основная часть мусора сжигается.

3. *Утилизационные методы*, при которых используют все компоненты мусора. Пищевые отходы после тепловой обработки по-

ступают на свинофермы. Пластмассу, стекло, металлолом, тряпье, бумагу используют как вторичное сырье. Древесину, резину и некоторые другие отходы сжигают для получения энергии. Полная утилизация отходов достигается в результате сложного законченного цикла производственных процессов: сортировки с применением магнитной сепарации и дробления, биологической переработки, гидролиза или газификации органических веществ и т. д.

В 80-е годы XX в. ежегодно в мире сжигали промышленным способом около 6 % бытового мусора (50 млн т), что давало мировому хозяйству дополнительно около 7,5 млрд кВт/ч энергии. Большую перспективу в этом отношении имеет строительство небольших фабрик, производящих биогаз из органических отходов.

Расширяется индустрия по вторичному использованию отходов. В ряде стран Западной Европы действуют предприятия, извлекающие пластиковые отходы и превращающие их в новые изделия из пластмасс. Служба утилизации постоянно совершенствуется. В настоящее время любой производимый продукт сопровождается подробным описанием способов его возможной утилизации. С конца 80-х годов XX в. в Японии начали использовать роботов для сбора и транспортировки твердых бытовых и промышленных отходов, для участия в производственных процессах на мусоросжигающих и мусороперерабатывающих предприятиях.

12.4. Геоэкологические последствия сельскохозяйственного производства

Наиболее широко распространенным антропогенным фактором преобразования земной поверхности, ее атмосферы и гидросферы является агропромышленный комплекс — важнейшая система жизнеобеспечения общества. Сельское хозяйство обеспечивает до 99 % массы продуктов питания людей на Земле, в том числе 88 % белкового питания. Отсюда неизбежен вывод о том, что чем выше численность населения и больше его потребности, тем выше роль сельского хозяйства и тем сильнее его воздействие на внешние геосферы.

В настоящее время около 40 % территории, свободной от льда, занимают сельскохозяйственные системы — земледельческие и животноводческие производства. Из них пашня составляет около 30%, пастбища — около 70 % суши. Огромное разнообразие сельскохозяйственных систем и производств обусловлено ландшафтно-климатическими условиями и связано с особенностями применяемых технологий. Существуют различные вариации агросистем — от простых до очень сложных. Чем сложнее агросистема, тем выше уровень сельскохозяйственной технологии.

Несмотря на свое разнообразие, сельскохозяйственные системы характеризуются одной общей особенностью: они всегда оказывали и оказывают глубокое воздействие на природные экосистемы и ландшафтно-климатические особенности территорий. В процессе развития сельского хозяйства многообразный естественный растительный покров и растительное многообразие заменяются монокультурой. Это связано с тем, что монокультуру выбирают в полном соответствии с природными условиями конкретной территории и специально повышают ее урожайность. Таким образом, в результате развития агротехники природная система коренным образом преобразуется, трансформируется и упрощается.

Со времени своего возникновения земледелие идет по пути изменения водного режима. Богарная система земледелия около 3—5 тыс. лет назад сменилась орошаемой.

Точно так же как и земледелие, животноводство обладает множеством разнообразных форм в соответствии с ландшафтно-природными условиями и уровнем развития общества. Животноводческие агросистемы существенным образом трансформировали природные ландшафты. Хорошо известно, что африканская саванна (лесная и высокотравная) под влиянием тысячелетнего весьма интенсивного выпаса скота, который осуществляли пришедшие на эту территорию скотоводческие племена, преобразовалась в пустыню.

Основной геоэкологической проблемой пастбищного скотоводства в засушливых регионах мира является постепенное истощение пастбищ вплоть до полного уничтожения растительного и почвенного покрова и развития опустынивания.

В умеренном поясе существующее пастбищно-стойловое животноводство также создает геоэкологические проблемы. Большинство из них связано с загрязнением почвы, грунтовых вод и поверхностных водоемов отходами животноводства. Это не только изменение кислотности почв, но и определенные нарушения в существующем природном круговороте азота, углерода и усиленном выбросе метана.

Естественные системы характеризуются высокой степенью замкнутости баланса органического вещества и биогенных элементов. Благодаря существованию замкнутых систем происходит направленная эволюция естественных систем. В сельскохозяйственных системах цикл круговорота вещества и биогенных элементов нарушается и размыкается. Часть веществ забирается человеком в виде урожая, часть удаляется для переработки. Все большее количество веществ вносится в виде минеральных удобрений и пестицидов. Вынос вещества с сельскохозяйственных угодий достигает 40—80 % годовой продукции биомассы. При этом оказывается, что чем выше продуктивность агросистем, тем больший объем имеет от-

требляемая продукция, а это приводит к неустойчивости самой системы. Антропогенный привнос веществ в агросистему на два порядка превосходит их естественное поступление. А все это вместе взятое приводит к значительной трансформации агросистемы.

В процессе сельскохозяйственного производства меняются роль и скорость многих экзогенных процессов. Усиливается водная и ветровая эрозия почв. Сама почва меняет свою структуру. Она уплотняется под тяжестью сельскохозяйственных машин. Меняется и структура теплового баланса вследствие изменения величины альбедо и затрат на транспирацию. В полном соответствии с происходящими экзогенными факторами изменяются водный баланс и режим влаги в почве.

Геоэкологические проблемы сельского хозяйства считаются универсальными. Они встречаются повсеместно и размеры их воздействия на природную среду одинаково большие независимо от ландшафтно-климатических особенностей. Они являются результатом непреднамеренных и некоординированных воздействий населения сельских районов на природную среду.

Деградация почв и снижение биологической продуктивности — самая важная геоэкологическая проблема современности. Растущий спрос на продовольствие может быть удовлетворен двумя путями: расширением пахотных земель и интенсификацией сельского хозяйства. Но в обоих случаях неизбежно усиление геоэкологических проблем из-за ухудшения состояния земель и повышения роли минеральных удобрений.

12.5. Геоэкологические особенности энергетики

Важнейшей стороной деятельности человека являются потребление и способы производства необходимого количества энергии. Без вещества и энергии невозможно развитие биосферы. Без использования энергии невозможны все другие виды человеческой деятельности — извлечение и переработка природных ресурсов, производство промышленной продукции, функционирование транспорта, сельскохозяйственное производство, освещение, отопление, здравоохранение и т. д. Развитие цивилизаций происходило в тесной взаимосвязи с развитием энергетики.

Первым источником энергии для любого вида деятельности человека была его мускульная сила. Изобретение способов добычи огня и его широкое применение обеспечивали человеку тепло и горячую пищу, а также производство новых материалов. В начале это была бронза, а затем железо. Использование мускульной силы домашних животных способствовало прогрессу в сельском хозяйстве, транспорте и промышленности в античное время и в средневековье. Изобретение пара явилось важным толчком для широкого

развития промышленности и предопределило промышленную революцию. Новый преобразователь тепловой энергии послужил стимулом для освоения таких энергетических ресурсов, как каменный и бурый уголь, нефть и природный газ. С этого времени, т. е. с конца XIX в., началась новая эпоха использования топлива в качестве производителя энергии. Лишь во второй половине XX в. в качестве производителя энергии начали применять ядерное горючее. Общее коммерческое потребление источников энергии в мире на начало 90-х годов XX в. составило, %: нефть — 37, газ — 24, уголь — 29, атомная энергия — 7.

Общая мощность производимой в мире энергии составляет 10 ТВт, или 10^{12} Вт. Это количество ежегодно увеличивается. Около 90 % энергии получают в результате сжигания горючих полезных ископаемых. По-видимому, такая тенденция сохранится на ближайшие десятилетия, но количество потребляемой энергии непрерывно будет увеличиваться, что потребует существенного расширения источников производителей энергии. Скорее всего на ближайшую перспективу объем и доля атомной энергетики останутся такими же скромными. Точно такой же скромной остается и гидроэнергетика, ресурсы которой в основном оказываются исчерпанными.

Это означает, что в ближайшей перспективе станут увеличиваться преимущественно возобновляемые источники энергии. К ним относятся солнечная энергия, энергия ветра, морских приливов, динамики и термического режима вод и геотермальная энергия. Экономические и экологические затраты на производство энергии из возобновляемых источников энергии неуклонно снижаются. В настоящее время доля производства энергии из возобновляемых источников приближается к 1 %.

В связи с ростом потребления энергии в последние десятилетия XX в. существенно увеличился расход горючих полезных ископаемых, а их разведанные запасы неуклонно росли. Согласно существующим оценкам, разведанных запасов нефти должно хватить на 45, угля — на 200, а природного газа — на 50 лет.

Производство и потребление основных источников тепловой энергии практически всегда сопровождаются весьма неблагоприятными последствиями для биосферы и здоровья людей. Это связано как с выбросами в атмосферу диоксидов и оксидов углерода и серы, так и с необходимостью утилизации токсичных отходов, в частности золы, возникающей при сжигании твердых горючих полезных ископаемых.

Не только возникающий дефицит в добыче горючих ископаемых и их в определенной степени ограниченность могут стать тормозом в развитии тепловой энергетики, но важную роль в ограничении производства тепловой энергии сыграет продолжающееся ухудшение состояния окружающей среды. Все это приведет к транс-

формации глобальной энергетической системы, в первую очередь должны будут шире использоваться возобновляемые и экологически более чистые источники энергии.

Упор в энергетике на использование горючих полезных ископаемых и чрезвычайно высокая их доля в производстве энергии предопределяют специфический набор геоэкологических проблем. Во-первых, загрязнение окружающей среды начинается с самого первого этапа, причем даже не только в период их добычи, обогащения и переработки, но и на стадии геологических поисков и разведки. Далее геоэкологические проблемы нарастают, и они связаны как с открытыми, так и с подземными разработками твердых горючих ископаемых. Весьма значительные загрязнения окружающей среды сопровождают добычу нефти и газа. Они продолжают как на стадии транспортирования, так и в процессе переработки.

Во-вторых, загрязнение окружающей среды усиливается в результате выбросов в атмосферу различных газообразных и пылевых частиц. Тепловая энергетика является одной из самых крупных отраслей промышленности. В России выбросы тепловой энергетики составляют 27 % общего количества выбросов всей индустрии. На ее долю падает 31 % выбросов твердых частиц, на диоксид серы — 42 %, а на оксиды азота — 24 %. Но кроме этих загрязняющих веществ в процессе сжигания горючих ископаемых в атмосферу выделяются оксиды и диоксиды углерода, играющие существенную роль в парниковом режиме планеты.

Современная ТЭЦ мощностью 100 МВт выбрасывает в атмосферу ежегодно 165 тыс. т газов и 50 тыс. т твердых частиц. Тепловое загрязнение в виде неиспользованной теплоты, выбрасываемой в атмосферу и расходуемой на обогрев прудов, составляет около 60 % производимой энергии. Это, в свою очередь, свидетельствует о низком уровне коэффициента полезного действия тепловых электростанций. Каждая ТЭЦ занимает территорию в 4 км², не считая площади складов, подъездных путей, градирен, линий электропередач, свалок и др.

Загрязнение воздуха, производимое тепловыми станциями, неблагоприятно влияет на экосистемы и здоровье людей. Из всех используемых в тепловой энергетике горючих материалов наибольшее загрязнение, в том числе и выброс парниковых газов, производится в результате сжигания угля и наименьшее — при сжигании газа. Кислотные осадки, возникающие вследствие функционирования тепловых электростанций, наносят ущерб ландшафтам — озерам, рекам, лесам, степям, воздействуют на здания, памятники культуры. Вследствие высокого уровня выброса в атмосферу парниковых газов тепловая энергетика является одной из серьезных причин антропогенного изменения климата.

Атомные электростанции несут высокий риск ядерной катастрофы с длительным заражением окружающей среды радиоактив-

ными изотопами. После взрыва атомного реактора на Чернобыльской АЭС радиоактивное загрязнение нанесло огромный ущерб жизни и здоровью людей, усугубило, сделав угрожающим, состояние естественных и агроэкологических систем и таким образом вывело из нормального функционирования значительные территории Украины, Белоруссии, России.

Вызывает обоснованную тревогу не только возможность аварий на АЭС, но и нерешенность до настоящего времени проблемы хранения и переработки радиоактивных отходов. Подошли контрольные сроки эксплуатации первых атомных электростанций. Морально устарели и требуют замены агрегаты и механизмы, а также сами емкости атомных реакторов. До сих пор неизвестно, что делать с радиоактивными металлическими и бетонными частями, а ведь все они подлежат консервации. Однако плохо разработана проблема их безопасного и эффективного хранения. Большая проблема связана с захоронением и переработкой ядерных отходов. Как известно, любой отход представляет собой потенциальное сырье до тех пор, пока не начата его переработка. При переработке 1 т ядерных отходов образуются 1 т высокоактивных, 2 т среднеактивных и 3,5 т низкоактивных твердых отходов, а кроме того, свыше 2500 т жидких радиоактивных отходов. Суммарная радиация отходов после переработки отработанного ядерного топлива составляет 600 000 Ки.

Определенный геоэкологический ущерб наносят экосистемам строительство и эксплуатация гидроэлектростанций. Имеются и сугубо специфические геоэкологические проблемы. Это потери пригодных для сельскохозяйственного использования земель, уничтожение лесов, перенос населенных пунктов из зоны затопления, потери в рыбном хозяйстве. В тропических и экваториальных районах к ним добавляются вспышки ряда заболеваний, которые ассоциируются с водой (малярия, шистосоматоз, речная слепота и др.).

Строительство плотин и водохранилищ приводит к резкому сокращению твердого стока речной системы в конечный бассейн стока. Значительный объем взвешенных частиц осаждаются на дно, усиливая нагрузку на слои горных пород под дном водохранилища. Это приводит к постепенному накоплению сейсмогенной энергии, которая в определенных случаях выражается локальными землетрясениями силой до 5—6 баллов по шкале Рихтера. Создание водохранилища влечет за собой усиление геоэкологической нагрузки на окружающую среду. С одной стороны, начинает меняться водная среда, в которой оказывается захоронено органическое вещество, с другой — водная поверхность существенно меняет микроклимат на территории, прилегающей к водохранилищу. При этом усиливается ветровая и водная эрозия берегов.

Магистральное направление в стратегии снижения геоэкологических проблем энергетики заключается в повышении доли возоб-

новляемых и использовании экологически более чистых источников энергии. Длительное время предпринимаются попытки в прямом использовании солнечной энергии. Но многие из предлагаемых способов оказались не полностью оправданными с экологической точки зрения. Аккумуляторы солнечной энергии требуют размещения на значительных площадях. Используемые для выработки электроэнергии гелиоустановки, которые с помощью специальных зеркал концентрируют солнечные лучи и фокусируют их на паровые установки, в полной мере зависят от уровня облачности, высоты солнца над горизонтом и бывают эффективными только в тропических районах со значительной продолжительностью светового дня. В том случае, если в процессе получения энергии используются фотоэлектрические батареи, надо иметь в виду, что на определенных участках технологических линий возникает значительное загрязнение окружающей среды.

В настоящее время большие надежды возлагают на совершенно иное использование солнечной энергии в производстве электрической. Речь идет о специально созданных солнечных батареях, которые преобразуют солнечный свет непосредственно в электрическую энергию. Это так называемые фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), основу которых составляют тончайшие кремниевые пластины. В середине XX в. было установлено, что чистый кремний, так же как и германий, который широко используется в солнечных батареях на космических кораблях, обладает свойствами полупроводника и может быть применен для получения солнечной энергии. Однако для этого необходимо было решить очень сложную технологическую задачу. Во-первых, кремний должен быть практически чистым (он не должен содержать примесей более чем $10^{-6}\%$) и, во-вторых, металлический кремний с заданными свойствами кристалла (а выращивается он в специальных установках) должен обладать максимально большими размерами. Промышленный выпуск кремниевых пластин со временем усовершенствовался и в настоящее время созданы пластины диаметром 300—450 мм. При производстве металлургического кремния экологические проблемы постепенно решаются. В настоящее время кремниевые пластины широко используют для работы калькуляторов, компьютеров и в электротехнике. И, наверное, в скором времени, если решится проблема экономически выгодного производства широкоформатных солнечных кремниевых батарей, можно будет говорить о прямом и геоэкологически чистом использовании солнечной энергии.

Опосредованное использование солнечной энергии в виде преобразования ветра, морских течений, приливов и отливов моря, разложение биомассы также несвободны от геоэкологических обстоятельств. К примеру, ветровые установки производят шум определенного уровня, и поэтому размещаются вдали от населенных

пунктов. Очень сложная техническая задача стоит перед производством электроэнергии при использовании энергии морских волн.

Использование геотермальной энергии сопровождается определенными загрязнениями воздуха, воды и почвы. Геотермальная электростанция мощностью 100 МВт выпускает в атмосферу 10^4 — 10^5 т газов ежегодно, загрязняет до 108 м^3 воды и занимает площади около 20 км^2 . Для сравнения: безвредные солнечные батареи, размещенные на территории около 100 км^2 , полностью обеспечивают потребности в электроэнергии целого континента.

Следует обратить внимание на недостаточно эффективное использование производимой человеком электроэнергии. Более половины ее теряется из-за технических особенностей энергетических систем, особенно при передаче энергии на значительные расстояния. При этом возникают и иные проблемы геоэкологического характера. В частности, это своеобразные электромагнитные поля, возникающие вдоль ЛЭП, крайне отрицательно влияющие на здоровье человека и животных.

После двух энергетических кризисов во второй половине XX в. эффективность использования энергии в развитых странах существенно повысилась. Однако для выхода человечества из глобального геоэкологического кризиса необходимо разработать технические возможности, при которых в обозримом будущем эффективность использования энергии повысится на порядок.

12.6. Геоэкологические последствия работы промышленности и транспорта

Промышленность. Деятельность промышленности весьма разнообразна — от добычи и переработки сырья до выпуска сложнейших механизмов и машин. Геоэкологические последствия промышленного производства складываются в форме своеобразной пирамиды, которая в общем виде напоминает экологическую пирамиду. В основании пирамиды покоятся добыча и обогащение сырья, основу которого составляет минеральное сырье. Известно, что в зависимости от содержания полезного компонента часть добываемой руды идет в отвалы в виде пустой породы, грунта, нестандартной древесины, руды с низкими концентрациями полезного минерала. Это составляет иногда около 95 % добываемого сырья. Часть сырья, идущего в отвалы до того, как будут разработаны соответствующие технологии обогащения, оказывается в форме пустой породы. Однако, как известно, с развитием технологий некоторая часть пустой породы вновь становится объектом добычи и соответствующей переработки.

Часть добываемого сырья проходит стадию обогащения, так как промышленные предприятия в состоянии принять на переработку

только сырье определенного качества. Менее 10 % сырья достигает следующей стадии — стадии переработки. На ранних стадиях металлургического производства получают промежуточную продукцию: железо, чугун, низкосортную сталь, прокат. Подобную раннюю стадию имеют не только металлургические предприятия, но и предприятия нефтехимической и химической промышленности, предприятия лесотехнического комплекса (предприятия по производству деловой древесины, целлюлозы и др.).

В машиностроении и на предприятиях легкой промышленности из переработанного сырья производят разнообразные механизмы, машины и предметы потребления. На этой стадии доля полезного продукта от исходного количества сырья еще более сокращается.

На самом вершине производственно-экономической пирамиды находится высшая стадия промышленного производства — высокоточная индустрия нанотехнологии. Она производит аппараты электроники, микроэлектроники и прецизионного машиностроения, композитные материалы, продукты биотехнологии, товары и продукты, которые могут быть объединены под названием «продукты высокой технологии». На этой завершающей стадии производства объем используемых материалов сокращается до минимума, но возрастают капиталовложения в высокую квалификацию персонала, передовые (новейшие) технологии и дорогостоящие комплектующие.

Стадия высокой технологии является результатом современной научно-технической революции. Ее развитие невозможно без существования других вышеперечисленных стадий, которые подготавливают сырье к этой стадии: невозможно без металла, а значит, без существования добывающих и металлургических предприятий.

Геоэкологические воздействия промышленности охватывают всю технологическую цепочку, начиная от добычи сырья и первичной его обработки через процессы производства и заканчивая выпуском конечного продукта, причем на каждой стадии необходима организация размещения и переработки отходов (табл. 12.1).

Промышленность — весьма важный, если не основной потребитель природных ресурсов, в число которых входят металлические и неметаллические, а также горючие полезные ископаемые, продуктов сельскохозяйственного производства, энергии различных видов. В результате работы промышленности возникает необходимость в запланированных и неожиданных (залповых) сбросах вредных газов, твердых отходов и разнообразных жидких стоков. Это может произойти на любой стадии и в процессе любого вида производства. При этом надо учитывать, что некоторые отходы и даже сами продукты производства промышленности являются токсичными и наносят значительный ущерб здоровью человека и окружающей среде.

Геоэкологические воздействия различных отраслей промышленности (по Г. Н. Голубеву)

Промышленность	Сырье	Воздух	Вода, назначение	Вода, качество	Твердые отходы	Риск
Текстильная	Шерсть, синтетика, химические вещества	Пыль, запахи, HC, SC ₂	Для промывки	БПК, взвеси, соли, токсические металлы, сульфаты	Промышленные илы	—
Кожевенная	Шкуры, химические вещества	Запах	То же	БПК, взвеси, сульфаты, хром	Отстой с содержанием хрома	—
Черная металлургия	Железная руда, лом, известняк	SO ₂ , NO _x , H ₂ S, пыль HC, CO, кислотные туманы	»	БПК, взвеси, нефть, металлы, кислоты, фенолы, сульфиды, сульфаты, аммиак, цианиды	Шлак, отходы, промышленные илы	Взрывы и пожары
Нефтепереработка	Неорганические химические вещества	SO ₂ , NO _x HC, CO, запахи, пыль	Для охлаждения	БПК, ХПК, нефть, фенол, хром	Промышленные илы, смолы	То же
Химическая	Неорганические и органические химические вещества	Органические химические вещества, фреоны	—	Органические химические вещества, тяжелые металлы, взвеси, цианиды, ХПК	Промышленные илы, химические отходы	Взрывы и пожары, выбросы
Цветная металлургия	Боксит, нефел, сиенит	Фтор, CO, SO ₂ , пыль	Для промывки	Фтор, взвеси, HC	Промышленные илы, фтор, углерод	Отравление почв и воздуха
Микроэлектроника	Химические вещества	Токсичные газы	—	В грунтовых водах токсические вещества	—	Отравление почв
Биотехнология	—	—	—	Загрязненные сточные воды	—	То же

Как видно из таблицы, при работе промышленности возникает множество геоэкологических опасностей и даже существует риск развития крупнейших экологических катастроф.

Для борьбы с неблагоприятными геоэкологическими последствиями промышленного производства существуют два принципиальных подхода: управление загрязнениями на конечной стадии производства; системная перестройка производственного цикла.

Переработка загрязнений на конечной стадии производства не сокращает массу загрязнителей. При этом отходы после их обработки смещаются из одной среды в другую, более удобную для данного технологического цикла, например из воздуха в воду или почву. Такой подход, хотя и приемлемый как временная мера, в долгосрочном плане нежелателен, поскольку не решает возникающих геоэкологических проблем.

Второй принципиальный подход в качестве долгосрочной меры предусматривает разработку полностью замкнутой системы производства. В большинстве случаев использование замкнутых циклов при современном уровне развития технологии и капиталовложений не может дать 100%-го эффекта. Для этого существует три подхода: экономия сырья, материалов и энергии; увеличение степени использования промышленного продукта; полное извлечение полезных продуктов из промышленных отходов.

Транспорт. Работа транспорта играет важнейшую роль в экономике и жизнедеятельности людей. Транспорт — важнейший компонент общественного и экономического развития, поглощающий значительное количество ресурсов и оказывающий значительное влияние на окружающую среду. Виды транспортных услуг и их объем непрерывно растут. На смену устаревшим видам транспорта приходят новые. Но при этом остаются страны и районы, где в качестве транспорта используют тягловую силу животных, велосипед и др. Все шире применяют для перевозки грузов и пассажиров автотранспорт. Этому способствует усиленный рост скоростных и хорошо оборудованных транспортных магистралей. Около 50 % добываемой нефти используется для автомобильного транспорта, рост которого опережает темп роста населения.

Вместе с тем транспорт оказывается важным неблагоприятным фактором, воздействующим на состояние окружающей среды. Он загрязняет токсичными веществами воздух и воду, создает шум и вибрацию, поглощает большую площадь земельных ресурсов для создания магистралей, мест стоянок, трубопроводов, складов, вокзалов, морских и воздушных портов. При оценке геоэкологической нагрузки транспорта надо учитывать не только приносимую им пользу, но и ущерб, наносимый в результате расходования как для его производства сырья и материалов, так и для создания элементов транспортной инфраструктуры.

Загрязнение воздуха — самая серьезная и опасная геоэкологическая проблема, связанная с транспортом. В Москве эмиссия выхлопных газов автомобилями составляет не менее 70 % всего загрязнения воздуха.

Высокая степень урбанизации оказывает огромное геоэкологическое воздействие на природную среду. В зависимости от численности населения города делятся на малые, средние, мегаполисы и конурбации. Города являются основными источниками загрязнения природных вод и атмосферы. Вблизи городов создаются бытовые и промышленные свалки, загрязняющие среду. Управление водными ресурсами основывается на регламентации качества питьевой воды и экономном расходовании воды для хозяйственных и промышленных целей. Большое значение придается химической и биологической очистке сточных вод. Управление геологической средой необходимо для прогнозирования состояния эндо- и экзодинамики, рационального использования наземного и подземного геологического пространства и управления деятельностью горно-рудных предприятий. Большой экологический эффект имеет правильное использование подземного пространства и управление отходами. Огромный геоэкологический эффект оказывают сельское хозяйство, энергетика, промышленность и транспорт.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается геоэкологическое воздействие урбанизации и городской среды?
2. Какое воздействие оказывает жизнедеятельность городского населения на воздушную среду и подземные воды?
3. Какое воздействие на природную среду оказывают свалки твердых отходов вокруг городов?
4. В чем особенность управления водными ресурсами?
5. Что означают ПДК, ПДС и БПК?
6. Что представляет собой система охраны геологической среды?
7. Что означают эколого-геологический мониторинг?
8. Как используется подземное пространство?
9. На чем основано управление отходами?
10. В чем заключаются геоэкологические проблемы сельского хозяйства?
11. С чем связаны геоэкологические проблемы энергетики?
12. Какова геоэкологическая роль промышленности и транспорта?

Литература

- Арский Ю. М. Экологические проблемы: что происходит, кто виноват и что делать? — М., 1997.
- Голубев Г. Н. Геоэкология. — М., 1999.
- Горшков В. Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. — М., 1995.

ГЛАВА 13 МЕТОДЫ И ПРИНЦИПЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

13.1. Возникновение и развитие геоэкологических исследований

Несмотря на то что в процессе геологических исследований и во время добычи полезных ископаемых геологи обращали пристальное внимание на состояние окружающей среды, длительное время специальные геоэкологические исследования не проводились. Работы, освещающие применение методов прикладной геохимии, которые можно считать прообразом геоэкологических исследований, появились лишь в 80-е годы XX в.

В 1972 г. были опубликованы первые карты ландшафтно-геохимического районирования СССР, которые использовались для прогноза влияния техногенеза. В 1979 г. была подготовлена карта ландшафтно-геохимического районирования Нечерноземной зоны. Именно издание этих карт можно считать началом специальных геоэкологических исследований.

Одной из первых работ в области регионального геоэкологического картирования можно считать серию инженерно-геологических карт в масштабе 1:500 000, изданных в 1990 г. Они были составлены коллективом сотрудников геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова под руководством академика Е. М. Сергеева.

В разработке геоэкологических проблем в рамках гидрогеологии и инженерной геологии ведущая роль принадлежит Всероссийскому научно-исследовательскому институту гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО, г. Москва). Коллективом сотрудников этого института в 1983 г. была составлена обзорная карта состояния и техногенных изменений геологической среды в масштабе 1:5 000 000. На ней выделены типы геологической среды с учетом ландшафтно-климатических факторов, показано строение четвертичных отложений и отражена предрасположенность территорий к возникновению или активизации естественных или техногенных геологических процессов, показаны особенности этих процессов и их интенсивность, изменения подземной гидросферы, локальные процессы, происходящие в крупных городах, отражены особенности загрязнения подземных вод.

С 1964 по 1988 г. сотрудниками ВСЕГИНГЕО была составлена серия гидрогеологических карт европейской части СССР в масш-

табе 1:500 000. В эту серию входят две карты геоэкологического содержания: карта техногенных изменений гидросферы и карта защищенности и степени загрязнения подземных вод. Некоторые геоэкологические параметры были отражены на карте гидрогеолого-мелиоративного районирования. На карте техногенных изменений гидросферы выделены типы геологической среды, основанные на строении четвертичных отложений и подстилающих коренных пород. Основным объектом картирования явились природно-техногенные системы, выделенные с учетом типов геологической среды и видов техногенных систем.

В 1990 г. сотрудниками Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ, г. Москва), Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург) и Дальневосточного научно-исследовательского института минерального сырья (ДВИМС, г. Хабаровск) была представлена концепция многоцелевого картирования территории СССР в масштабах 1:1 000 000, 1:200 000 и 1:50 000. В исследования подобного рода было включено эколого-геохимическое картирование. В этой концепции впервые применен иерархический подход к объектам изучения и интерпретации геохимических и геофизических полей различного происхождения. Была предложена новая методика картирования на основе предварительного многофакторного районирования территорий.

Начиная с 1991 г. на шести полигонах России (Кольский, Московский, Алтайский, Байкальский, Восточно-Забайкальский и Приморский) многие производственные организации и научные геологические учреждения приступили к разработке технологии многоцелевого геохимического и геоэкологического картирования.

Геоэкологические работы должны были проводиться по единой программе, которая координировала и интегрировала многоцелевые исследования по всем природным средам. Кроме геоэкологических программ общегосударственного значения, ранее были разработаны и находились в начальной стадии некоторые другие программы общегосударственного значения: «Чернобыль», «Арал», «Арктика», «Сибирь» и др.

Существуют определенные различия в концепции геоэкологического картирования в России и ряде зарубежных стран (Германия, Норвегия, Испания). Главное из них заключается в том, что в России существует четкое разграничение объектов исследований между ведомствами. В перечисленных странах экологические исследования проводятся более комплексно с учетом экономических факторов. Широко используется термин «геопотенциал». Это понятие в трактовке зарубежных исследователей очень близко к российскому понятию «геологическая среда», в котором учитывается хозяйственное значение отдельных ее компонентов (почвы,

подземные воды, полезные ископаемые). Один из конечных этапов подобных исследований — составление карт риска освоения территорий. Подобные карты дают представление о характере негативных процессов, возникающих при строительстве и эксплуатации месторождений полезных ископаемых и в процессе иных видов хозяйственной деятельности.

Зарубежные исследователи, в частности И. Д. Беккер-Платен и М. Дорн, предлагают использовать концепцию картирования геопотенциалов. Они считают необходимым проводить четыре уровня исследований:

составление базовых карт, в число которых входят геологическая и почвенная карты;

составление специальных карт — гидрогеологической, минеральных ресурсов с указанием глубины залегания полезных ископаемых, характера почв, сельскохозяйственной продуктивности, инженерно-геологической и др.;

составление оценочных карт — карт резервных территорий для добычи полезных ископаемых, карт использования подземных вод;

составление карт возможного использования территорий с точки зрения геопотенциалов, которые позволяют строго на научной основе планировать размещение хозяйственных объектов с учетом экологических ограничений.

13.2. Методы геоэкологических исследований

В настоящее время геологическая наука и практика располагают огромным арсеналом методов и методик, которые наряду с фундаментальными проблемами позволяют решать чисто прикладные задачи, связанные с поиском и разведкой месторождений полезных ископаемых. Геоэкологические исследования оперируют практически тем же комплексом методов, что и при геолого-разведочных работах: собственно геологическими, геохимическими, геофизическими, гидрогеологическими, геоморфологическими. В результате интерпретации полученных данных устанавливаются явления, процессы, свойства и зависимости, которые выступают как экологические факторы, т. е. отражают те или иные стороны взаимодействия литосферы и биосферы (Л. Л. Прозоров, 1997).

К собственно геологическим методам относятся те из них, которые направлены на изучение свойств геологической среды, петрологического характера горных пород и геодинамических процессов. Петрологические свойства горных пород обусловлены их минеральным и химическим составом, структурой и текстурой, условиями залегания и теми изменениями, которым они подвергаются в недрах земной коры и на ее поверхности. К геодинамическим процессам относятся процессы, протекающие как внутри земной коры,

так и на ее поверхности. Они выражаются в форме тектонических движений, сейсмических и вулканических процессов.

Петрологические свойства горных пород в сочетании с геодинамическими процессами определяют место и время возникновения, а также характер геоэкологических факторов. Практика показывает, что отсутствие или слабое знание состояния геологической среды нередко приводит к катастрофическим последствиям. Ярким примером подобного являются масштабные разрушения при землетрясениях. Трагичные ситуации возникают и при проходке подземных и наземных горных выработок, особенно тогда, когда о себе дают знать разломы и пльвуны, о которых ранее отсутствовали сведения и которые не были вовремя откартированы.

На первом этапе геологического исследования выявляют особенности проявления геологических процессов, оконтуривают геопатогенные зоны, определяют их характер и степень функционирования.

Геохимическими методами изучают распространение химических элементов или химических соединений в горных породах, атмосфере, природных водах, растительном покрове, организме животных. В последние годы их широко применяют в практике геоэкологических работ. Особенно привлекательны методики специальных геохимических съемок и картирования определенных территорий, в том числе и городских агломераций. Они проводятся в целях выявления мест повышенных концентраций химических элементов, оконтуривания и оценки величины геохимических аномалий. В первую очередь важно определить контуры распределения токсичных и радиоактивных элементов.

Согласно С. А. Григоряну (1992), основные вопросы, которые должны рассматриваться в рамках концепции по геохимии окружающей среды, следующие:

дифференциация геохимических аномалий на геогенные и техногенные при оценке состояния окружающей среды, что дает возможность более достоверно устанавливать источники геохимического загрязнения и их размеры;

комплексные геохимические исследования по современному опробованию вод, почв и донных отложений, позволяющие наиболее достоверно выяснять основные геохимические особенности исследуемой территории по результатам геохимического опробования;

использование результатов анализа проб, отобранных в процессе региональных геохимических съемок, для оценки состояния окружающей среды;

целесообразность комплексного характера работ по изучению окружающей среды с привлечением специалистов соответствующего профиля.

Как отмечает Л. Л. Прозоров (1997), при освоении нефтегазовых месторождений все большее внимание уделяется геохимичес-

ким особенностям углеводородного сырья и главным образом наличию в нем в качестве примесей различных токсичных образований.

Одна из важнейших задач экологического изучения территорий распространения нефтегазовых месторождений — идентификация как техногенных, так и всевозможных природных геохимических аномалий. Как оказалось, природные геохимические аномалии по элементному составу сходны с техногенными. Это означает, что, принимая участие в процессах гипергенного преобразования горных пород в зонах выветривания, природные аномалии, обогащаясь химическими элементами, сами превращаются в своеобразные источники загрязнения окружающей среды. Исследования последних лет показали, что природные геохимические аномалии по масштабам приноса в окружающую среду химических элементов вполне сопоставимы с техногенными и нередко превосходят их.

Установлено, что в атмосфере и почвенном покрове над нефтегазовыми месторождениями существуют своеобразные литогеохимические аномалии. Они представляют собой значительные по размерам области повышенных концентраций разных химических элементов, включая тяжелые металлы.

С помощью геофизических методов изучают распределение естественных или искусственно созданных физических полей — гравитационного, магнитного, электромагнитного, радиоактивного, теплового и др. Местонахождение перечисленных полей устанавливают с помощью геофизической аппаратуры, которая обладает высокой точностью измерения, что дает возможность выявить даже самые слабые изменения полей. Наряду с прогнозом землетрясений, оползней и селей эти методы помогают решать и локальные задачи, в частности предупреждать в подземных горных выработках возникновение горных ударов, обрушений, затоплений.

Положительные результаты были получены при изучении загрязнения подземных вод и картировании фильтрационных потоков на больших глубинах с помощью электроразведочных методов. Сейсмоакустические методы хорошо себя зарекомендовали при изучении эндогенных и экзогенных процессов, геокриологических условий и при картировании подземных льдов. Гравитационные методы позволяют определить местонахождение и проследить на площади активные разрывные нарушения.

Сейсмическое профилирование дает возможность исследовать характер геофизических полей и изучать особенности тектонических нарушений в акватории водохранилищ и озерных водоемов. Сейсмоакустические и электроразведочные методы помогают установить пространственное размещение донных отложений, карстово-суффозионные процессы и новейшие тектонические движения. Особенно важны эти методы при изучении наведенной сейсмичности.

Геофизическими методами изучают степень воздействия удаленных подземных ядерных взрывов и влияние взрывов при подземных разработках месторождений полезных ископаемых на пласты горных пород, определяют сейсмогенный режим водохранилищ и степень воздействия, оказываемого на поверхность литосферы во время запуска крупных ракет.

Особое место в ряду геофизических методов занимают радиометрические (радиоактивные) методы, основанные на выявлении и изучении радиоактивности различных объектов. Чернобыльская и Кыштымская аварии показали, как надо серьезно относиться к очагам и территориям радиоактивного загрязнения. Радиоактивное загрязнение окружающей среды — одна из самых острых и важнейших проблем экологии. Повышенные концентрации радиоактивных элементов в природных объектах связаны как с естественными источниками, например гранитоидные массивы, так и с активной деятельностью человека.

В настоящее время специалисты НПО «Радон» проводят широкомасштабные исследования по выявлению природных и антропогенных радиоактивных аномалий; системное обследование на радиоактивность детских учреждений, радиационный контроль железных дорог; выполняют эманационную съемку; измеряют концентрацию радона в воздухе жилых и производственных помещений. Проводятся работы по районированию территории России по степени опасности, вызываемой естественными радиоактивными элементами, а также радиоопасности, связанной с деятельностью человека.

Гидрогеологические методы направлены на изучение условий залегания, режима, физических и химических свойств подземных вод, их связи с горными породами, атмосферой и поверхностными водами. Известно, что от особенностей залегания и режима подземных вод в значительной степени зависят многие процессы, протекающие на земной поверхности и оказывающие существенное влияние на природную среду.

Велико значение подземных вод для хозяйственной деятельности и особенно для снабжения населения чистой питьевой водой. Подавляющее большинство крупных городов Западной Европы и Северной Америки снабжаются водой из подземных источников, которые, как правило, являются экологически чистыми. Москва и многие города Московского региона снабжаются питьевой водой из поверхностных вод, которые сильно подвержены загрязнению, в том числе и эпидемическому. И в то же время воду, используемую для технических целей, выкачивают из подземных водоносных горизонтов. Такой способ водоснабжения создает массу неудобств. При этом велики потери при транспортировке воды и не исключена возможность подачи в водопроводную сеть загрязненной воды. Использование экологически чистых вод из подземных

горизонтов для технических целей с каждым годом истощает их запасы.

Качество подземных вод, а их доля в общем балансе водоснабжения в России достигла 60 %, в последние годы резко ухудшилось. Согласно С. В. Крайнову (1993), в динамике ухудшения качества подземных вод существуют три фундаментальных гидрогеохимических явления, которые достаточно быстро изменяют экологическое состояние среды: формирование техногенных региональных геохимических провинций с загрязненными подземными водами; возрастание экологической опасности отдельных групп органических веществ; снижение окислительно-восстановительного потенциала подземных вод верхних водоносных горизонтов и увеличение в связи с этим концентраций в них новых токсичных веществ.

К числу актуальных проблем изучения подземных вод хозяйственно-питьевого назначения относятся контроль за качеством и прогноз его изменений, а также выработка практических рекомендаций по сохранению и улучшению этого качества. В этом отношении наиболее перспективны проблемы расчета допустимых загрязняющих нагрузок на подземные воды различных геохимических типов и проблема управления качеством подземных вод непосредственно в водоносных горизонтах (Л. Л. Прозоров, 1997).

Первостепенная задача геоэкологии — решить проблему безопасного захоронения промышленных и коммунально-бытовых вод в глубоких водоносных горизонтах. Решение этой проблемы вызовет изменения в сложившемся природном гидродинамическом и гидрогеохимическом равновесии. Надо достаточно точно рассчитать, как и каким образом это может отразиться на гидрогеологическом режиме и качестве подземных вод в обозримом будущем.

С помощью **геокриологических методов** изучают строение, состав, свойства и распространение многолетнемерзлых грунтов и толщ земной коры, а также процессы, связанные с их промерзанием и оттаиванием.

Многолетнемерзлые грунты, почвы и толщи занимают около 20 % поверхности суши. Они являются существенным препятствием для осуществления хозяйственной деятельности человека, начиная от прокладки транспортных магистралей до возведения промышленных и жилых зданий. Толщина многолетнемерзлых грунтов и горных пород колеблется от нескольких до сотен метров и зависит от географической широты, климата и характера рельефа.

Для определения реакций природы на техногенную деятельность в области развития многолетнемерзлых грунтов и прогнозирования ее последствий ученые МГУ им. М. В. Ломоносова, обосновав выделение нового научного направления — геокриоэкологии, разработали методы оценки, прогноза и обеспечения устойчивости мерзлотных комплексов, а также рекомендации по пре-

дупреждению и рекультивации нарушенных площадей в криоли-тозоне. Основными методическими принципами геокриозологии являются мониторинг и анализ эволюции геокриосистем под влиянием внешних условий их существования и развития. В геокриозологических исследованиях используют природно-экспериментальные, аналитические и картографические методы.

Инженерно-геологическими методами исследуют геологическую среду и влияние на нее техногенной деятельности, а также воздействие нарушенной геологической среды на хозяйственные, социальные объекты и на всю природу в целом; изучают условия и динамику верхних горизонтов земной коры в связи с инженерно-геологической деятельностью человека. Конечная цель подобных исследований — комплексная оценка геологических факторов, как природных, так и создаваемых человеком во время его деятельности.

Самым масштабным и одновременно тяжелым по своим последствиям воздействием на геологическую среду является строительство крупных гидротехнических сооружений. В процессе эксплуатации они вызывают крупнейшие изменения природной среды — разрушение берегов водохранилищ, подтопление, активизацию оползней, карстовых и суффозионных процессов, изменение режима подземных вод, разуплотнение и выветривание пород дна и стенок выемок и котлованов, изменение напряженно-деформационного состояния оснований плотин, возникновение наведенных землетрясений.

Важное место занимает проблема размещения отходов в геологической среде. Задачей инженерно-геологических методов в этом случае является поиск мест и наиболее подходящих и безопасных горизонтов подземных вод и подземных пустот.

С помощью **геоморфологических методов** изучают все многообразие форм рельефа, которые возникают в результате совместного воздействия эндогенных и экзогенных процессов на геологическую среду. Наряду с природными процессами определенные формы рельефа создаются в результате хозяйственной деятельности человека.

Аэрокосмические методы изучения земной поверхности, проведенные за последние десятилетия, внесли существенный вклад в геологическую науку. Главными достоинствами этого метода являются достоверность и объективность информации, возможность получения изображения любой степени генерализации, оперативность получения информации и возможность одновременного изучения внешних геосфер Земли.

Наиболее эффективными средствами аэрокосмического зондирования являются фотографические системы, которые обладают высоким разрешением и возможностью получения стереоэффекта. Космическая информация имеет первостепенное значение для

быстрого обнаружения катастрофических природных и антропогенных явлений. С ее помощью удается обнаружить характер и последствия крупных землетрясений или извержений вулканов, развитие оползневых явлений, сбросов в воды Мирового океана вредных отходов, аварии танкеров, масштабные выбросы в атмосферу вредных и отравляющих веществ. В связи с тем что наблюдения ведутся на волнах различной длины — в оптическом, инфракрасном и радиоволновом диапазонах, предоставляется возможность наблюдать земную поверхность не только в естественном изображении, но и рассмотреть ее тепловое поле с температурными аномалиями, получать качественные изображения независимо от времени суток и размеров облачности.

Большое значение для геозологических исследований приобрели **аэрогаммаспектрометрические и тепловые методы**. Они оказались особенно эффективными для выявления и контроля загрязнения акваторий, процессов самовозгорания на свалках и в терриконах, лесных пожаров, подземных пожаров торфяников и горячих полезных ископаемых.

13.3. Геозологическое картирование

Под картированием понимают процесс составления карт определенного содержания и масштаба путем генерализации карт любых масштабов в камеральных условиях. Обнаруженные и изученные с помощью различных геолого-геозологических методов ареалы и зоны распространения вредных и загрязняющих веществ наносят на карты.

Исследования в полевых условиях ориентированы на выявление:

зон загрязнения верхней части геологического разреза — почв, донных отложений рек и водоемов, областей шельфа, пресных и минерализованных подземных вод хозяйственно-питьевого и бальнеологического назначения;

масштабов истощения пресных и минеральных подземных вод, характера подтопления территорий городов, промышленных объектов, сельскохозяйственных земель, заболачивания, вторичного засоления, переувлажнения и переосушения почв;

районов активизации экзогенных геологических процессов — оползней, селей, обрушения берегов рек и водохранилищ, оплывин стенок карьеров и котлованов, карстовых провалов, эрозии почв, а также районов активизации геодинамических процессов и геокриологических деформационных процессов — пучения, термокарста, солифлюкции;

техногенного нарушения геофизических полей — электрических, гравитационных, сейсмических, тепловых и радиационных;

мест локализации геохимических аномалий.

Общая схема геоэкологических работ состоит из четырех этапов.

На первом этапе выполняют рекогносцировочные работы. Проводят мелкомасштабные исследования (1 : 1 000 000 — 1 500 000) для определения регионального геохимического фона, выявляют основные признаки и локальное размещение рудогенных или антропогенных аномалий. Благодаря мелкомасштабным исследованиям удается осуществить перспективное планирование природоохранной деятельности на крупных хозяйственных территориях различного освоения и назначения и провести градацию исследованных площадей по степени экологической опасности. Аналогичное ранжирование проводится и при выявлении площадей, пострадавших от воздействия чрезвычайно мощных источников загрязнения.

Согласно М. К. Бахтееву (1997), наиболее рациональным является комплекс работ, включающий эколого-геохимическое картирование почвенных горизонтов, почвообразующих пород и донных отложений. Пробы отбирают на основе существующих карт геохимических ландшафтов. Рекомендуются использовать аэрокосмические методы.

Конечным результатом первого этапа работ является определение региональных геохимических фонов и выделение крупных зон — геохимических аномалий и размещения опасных геологических явлений эндогенного и экзогенного происхождения. После проведения мелкомасштабных работ намечают районы первоочередного проведения работ более крупного масштаба.

На втором этапе проводят среднемасштабные геоэкологические работы (1 : 200 000 — 1 : 100 000). При этом выделяют природные и антропогенные геохимические аномалии в местах расположения крупных объектов хозяйственно-бытовой деятельности (промышленные зоны, отдельные крупные предприятия, сельскохозяйственные территории и т. д.).

Основной вид работ — картирование загрязненных территорий в местах расположения крупных урбанизированных районов. Предварительно составляют топографическую основу для геоэкологического картирования с использованием целого блока базовых карт — материалов предшествующих геологических и геоморфологических исследований. В процессе последующих работ наряду с нанесением основных геологических объектов, имеющих геоэкологическое значение, изучают химический состав почв и почвообразующих пород, геохимический состав растительности и зольный остаток, химический состав почвообразующих пород и донных отложений, пылевых выделений, а в северных районах, кроме того, исследуют состав мерзлого грунта и снежного покрова. Химико-аналитические исследования на этом этапе ра-

бот должны предоставлять максимально возможный спектр информации.

Результаты работ отражают на трех основных типах карт: рабочих (карты фактического материала), на которых показывают точки отбора проб и показатели моно- и полиэлементного содержания; оценочных (комплексных), отражающих ассоциации или интегральные показатели, и итоговых (результатирующих). На последних отражены степень экологической опасности загрязнения окружающей среды, прогноз ее изменения, очередность природоохранных работ. Кроме того, в таком же масштабе составляют карты опасных геологических явлений, характерных для исследуемого региона: наведенная сейсмичность, степень сейсмической или вулканической опасности, карстовых проявлений, наводнений, развитие селей с отражением уровня селевой опасности и т. д.

На третьем этапе крупномасштабных геоэкологических работ (1 : 50 000 — 1 : 25 000) выявляют очаги загрязнения размером до 100 км² (территории городов, населенных пунктов, зоны рекреационного назначения и другие хозяйственные территории), определяют пространственную структуру установленных аномалий, уровень концентраций химических элементов.

Цель работ, проводимых на этом этапе, состоит в том, чтобы определить эколого-геохимическую обстановку на территориях, обладающих большой социальной значимостью, и одновременно выделить территории с высокой техногенной нагрузкой. К началу этого этапа уже становятся известными наиболее опасные элементы и соединения, загрязняющие геологическую среду, и поэтому желательное ограничивать число аналитических данных, определяя только те элементы или соединения, которые обладают наиболее токсичным и опасным влиянием.

В процессе исследований выявляют источники загрязнения, определяют зоны их влияния, особенность миграции в окружающей среде. Для этого в исследования включают данные по химическому составу транспортирующих сред — воды и воздуха.

Проводимые работы служат основой для определения мест площадок и пунктов постоянного наблюдения для осуществления геоэкологического мониторинга. На заключительной стадии разрабатывают конкретные природоохранные рекомендации. Определяют круг промышленных объектов, на которых необходимо выполнить работы для определения локализации очагов загрязнения, выявить группы населения, наиболее подверженные воздействию загрязняющих элементов и соединений.

На четвертом этапе при составлении карт масштаба 1 : 10 000 — 1 : 5 000 и крупнее выявляют техногенно-геохимические ореолы площадью до 10 км², изучают причинно-следственные связи в системе «источник загрязнения — окружающая среда — живые организмы» в пределах выявленных потенциально опасных анома-

лий. При таких исследованиях выясняют и оценивают степень опасности сложившегося уровня загрязнения для живых организмов, потенциальную опасность геологических явлений для городских сооружений и отдельных построек и определяют направления практических мероприятий по улучшению качества окружающей среды, а также мероприятий по ликвидации опасных геологических явлений или снижению их негативного уровня. На основе разработанных мероприятий можно проводить и прогнозные работы по определению состояния геологической среды.

Исследования детального масштаба выполняют на конкретных локальных объектах и решают задачи, аналогичные задачам экологической экспертизы. Эти исследования предшествуют работам по разработке санитарного паспорта и выявлению потенциально опасных в экологическом отношении участков производственных процессов или технологических линий.

Надо всегда иметь в виду, что в процессе детальных исследований необходимо принимать нестандартные решения и применять индивидуальные подходы к каждому исследуемому объекту при общих принципах исследования состава твердых и жидких отходов, жидких стоков, атмосферных выбросов с учетом существующих технологических параметров производства и с этих позиций подходить к экологической оценке существующих технологических и производственных процессов.

13.4. Основные принципы среднемасштабного геоэкологического исследования и картирования

Общие сведения. Среднемасштабное геоэкологическое исследование и картирование (ГЭИК) осуществляется в соответствии с «Требованиями к геолого-экологическим исследованиям и картированию» (1991). Цель исследования и картирования — определение фонового состояния геологической среды и составляющих ее компонентов, выявление техногенных нарушений геологической среды, оценка активности и определение направленности природных и техногенных процессов, осуществляемых для правильного планирования и необходимых при разработке ГЭО территориальных природоохранных мероприятий.

Задачами среднемасштабных ГЭИК являются:

определение естественного состояния геологической среды с одновременным выявлением геохимического фона и существующих региональных геохимических барьеров;

выявление основных техногенных объектов и факторов, воздействующих на геологическую среду, и оценка характера их влияния;

выявление и оценка изменений геологической среды под воздействием техногенных процессов;

выявление и оценка влияния техногенных изменений геологической среды на компоненты экосистем. Среди них первостепенное внимание уделяется состоянию биоты, атмосферы, поверхностного и подземного стока;

качественный региональный прогноз основных тенденций техногенных изменений геологической среды;

обоснование мероприятий по рациональному использованию и охране геологической среды.

Главными задачами при исследованиях областей шельфа Мирового океана и внутренних морей являются изучение и оценка геолого-экологических условий функционирования шельфовой зоны и береговых частей.

К основным объектам изучения в процессе проведения среднемасштабных ГЭИК относятся:

1. Природные и техногенные ландшафты. Последние созданы техногенными системами (территориально-промышленными, топливно-энергетическими, горно-добывающими, агропромышленными комплексами, а также городскими агломерациями).

Исследованию подлежат почвы и почвообразующие породы, комплексы горных пород, отложения постоянных и временных во-

Таблица 13.1

Классификация главнейших типов руд по степени их экологической опасности

Типы руд по степеням опасности		
высокоопасные	умеренно опасные	малоопасные
Сернистые — в виде сульфидов, арсенидов, антимонитов, реже в форме соединений Bi, Te, Se, к которым принадлежит большинство руд цветных металлов (Cu, Zn, Pb, Ni, Sb и др.)	Оксиды — в форме оксидов и гидроксидов, характерные для многих месторождений Fe, Mn, Sn, Cr, Al	Сульфатные месторождения Ba, Sr и других элементов
Оксиды — в форме оксидов и гидроксидов, характерные для месторождений урана	Карбонатные — некоторые месторождения Pb, Zn, Fe, Mn, Mg, Cu. Фосфатные месторождения и связанные с фосфором соединения	Месторождения строительных материалов
Силикатные — типичные для неметаллических полезных ископаемых (слюда, асбест, тальк, драгоценные камни)	Галоидные — типичные для месторождений солей и флюорита	

лий. При таких исследованиях выясняют и оценивают степень опасности сложившегося уровня загрязнения для живых организмов, потенциальную опасность геологических явлений для городских сооружений и отдельных построек и определяют направления практических мероприятий по улучшению качества окружающей среды, а также мероприятий по ликвидации опасных геологических явлений или снижению их негативного уровня. На основе разработанных мероприятий можно проводить и прогнозные работы по определению состояния геологической среды.

Исследования детального масштаба выполняют на конкретных локальных объектах и решают задачи, аналогичные задачам экологической экспертизы. Эти исследования предшествуют работам по разработке санитарного паспорта и выявлению потенциально опасных в экологическом отношении участков производственных процессов или технологических линий.

Надо всегда иметь в виду, что в процессе детальных исследований необходимо принимать нестандартные решения и применять индивидуальные подходы к каждому исследуемому объекту при общих принципах исследования состава твердых и жидких отходов, жидких стоков, атмосферных выбросов с учетом существующих технологических параметров производства и с этих позиций подходить к экологической оценке существующих технологических и производственных процессов.

13.4. Основные принципы среднемасштабного геоэкологического исследования и картирования

Общие сведения. Среднемасштабное геоэкологическое исследование и картирование (ГЭИК) осуществляется в соответствии с «Требованиями к геолого-экологическим исследованиям и картированию» (1991). Цель исследования и картирования — определение фонового состояния геологической среды и составляющих ее компонентов, выявление техногенных нарушений геологической среды, оценка активности и определение направленности природных и техногенных процессов, осуществляемых для правильного планирования и необходимых при разработке ТЭО территориальных природоохранных мероприятий.

Задачами среднемасштабных ГЭИК являются:

определение естественного состояния геологической среды с одновременным выявлением геохимического фона и существующих региональных геохимических барьеров;

выявление основных техногенных объектов и факторов, воздействующих на геологическую среду, и оценка характера их влияния;

выявление и оценка изменений геологической среды под воздействием техногенных процессов;

выявление и оценка влияния техногенных изменений геологической среды на компоненты экосистем. Среди них первостепенное внимание уделяется состоянию биоты, атмосферы, поверхностного и подземного стока;

качественный региональный прогноз основных тенденций техногенных изменений геологической среды;

обоснование мероприятий по рациональному использованию и охране геологической среды.

Главными задачами при исследованиях областей шельфа Мирового океана и внутренних морей являются изучение и оценка геолого-экологических условий функционирования шельфовой зоны и береговых частей.

К основным объектам изучения в процессе проведения среднемасштабных ГЭИК относятся:

1. Природные и техногенные ландшафты. Последние созданы техногенными системами (территориально-промышленными, топливно-энергетическими, горно-добывающими, агропромышленными комплексами, а также городскими агломерациями).

Исследованию подлежат почвы и почвообразующие породы, комплексы горных пород, отложения постоянных и временных во-

Таблица 13.1

Классификация главнейших типов руд по степени их экологической опасности

Типы руд по степеням опасности		
высокоопасные	умеренно опасные	малоопасные
Сернистые — в виде сульфидов, арсенидов, антимонитов, реже в форме соединений Bi, Te, Se, к которым принадлежит большинство руд цветных металлов (Cu, Zn, Pb, Ni, Sb и др.)	Оксиды — в форме оксидов и гидроксидов, характерные для месторождений урана	Сульфатные месторождения Ba, Sr и других элементов
Оксиды — в форме оксидов и гидроксидов, характерные для месторождений урана	Карбонатные — некоторые месторождения Pb, Zn, Fe, Mn, Mg, Cu. Фосфатные месторождения и связанные с фосфором соединения	Месторождения строительных материалов
Силикатные — типичные для неметаллических полезных ископаемых (сланца, асбест, тальк, драгоценные камни)	Галоидные — типичные для месторождений солей и флюорита	

дотоков, озер, площади рудных полей и рудных узлов и месторождения с различными типами рудного вещества, первые от поверхности водоносные и слабоводоносные горизонты, бассейны регионального и местного подземного и поверхностного стока, техногенные отложения (отвалы, терриконы и др.). Особое внимание уделяют определению опасности разрабатываемых типов руд, которые классифицируют в определенном порядке (табл. 13.1).

2. Эндогенные и экзогенные геологические процессы.

3. Крупные техногенные горно-рудные и промышленные объекты, в том числе централизованные водозаборы, мелиоративные системы, нефтегазовые промыслы, места захоронения высокотоксичных отходов горно-добывающей промышленности.

Виды исследований. Среднемасштабные ГЭИК являются самостоятельными видами работ, даже если они проводятся в районах, где ранее были проведены геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические изыскания и составлены соответствующие карты того же масштаба. В этом случае ранее составленные карты служат необходимым вспомогательным средством исследований и включают специальные эколого-геохимические, эколого-гидрогеологические, эколого-радиометрические, эколого-инженерно-геологические, эколого-гидрохимические, эколого-геокриологические виды исследований.

Исследовательские работы разбиваются на три периода: подготовительный, полевой, камеральный.

В процессе подготовительного периода проводятся: сбор материалов о геологическом строении территории, выделенных геологических структурах, разломной тектонике, геологическом развитии района; техногенных объектах (расположение, особенности технологических линий, вырабатываемом продукте и существующих отходах);

сбор и обобщение информации по почвенно-геохимическим исследованиям с составлением предварительных карт загрязнения почвенных горизонтов;

сбор и анализ информации о загрязнении атмосферного воздуха, поверхностной и подземной гидросфере и растительности, о характере переноса воздушным и водным путем загрязняющих веществ, в том числе и радиоактивных, о состоянии здоровья населения; о других техногенных и природных нарушениях окружающей среды.

Во время подготовительного периода целесообразно проводить рекогносцировочные маршруты с целью уточнения степени воздействия на геологическую среду существующих источников загрязнения, предварительного определения типа загрязнения и выбора мест последующего опробования.

Полевой (экспедиционный) период проводится для маршрутных исследований, отбора проб, необходимых для прове-

дения специальных последующих анализов, полевого составления комплекта карт. Набор последних и их количество определяют на конечной стадии подготовительного периода в зависимости от степени техногенной нагрузки и конкретных условий геологической среды.

В процессе экспедиционных работ картированию подлежат: природные и техногенные ландшафты;

территории с различной интенсивностью проявления эндогенных и экзогенных геологических процессов и их техногенной активизации; места расположения оползней, просадок, карстообразования, суффозии, сеймотектонических обвалов, засоления и подтопления территорий; участки геокриологических процессов и т.д.;

участки техногенных изменений напряженного состояния горных пород, особенно в местах распространения горных выработок, которые проведены для разведки и добычи полезных ископаемых, котлованов строительных площадок и распространения техногенных грунтов, — насыпи, отвалы, терриконы и т.д.;

участки техногенных изменений гидрогеологических условий, в частности, участки истощения подземных вод, контуры депрессионных воронок, образовавшиеся в результате эксплуатации водозаборов подземных вод, шахтного и карьерного водоотлива, осушения, области подпора грунтовых вод вследствие строительства каналов и водохранилищ, прудов, места хвостохранилищ.

Во время полевых работ проводится целенаправленный отбор образцов горных пород и почвенных проб для последующего проведения химического анализа, осуществляется отбор проб воды и забор проб воздуха на территориях, подверженных техногенному воздействию.

Полученные в ходе экспедиционных работ картографические материалы, записи в полевых дневниках и пробы подвергают аналитической обработке в камеральный период.

Доступными методами в химико-аналитических лицензированных лабораториях в отобранных пробах почв, поверхностных вод и вод подземных источников определяют содержание тяжелых металлов, радионуклидов, органических соединений, пестицидов, гербицидов и других веществ, способных отрицательно воздействовать на экосистему.

В процессе камеральных работ составляют следующие карты:

концентраций тяжелых металлов в геологической среде, радионуклидов, органических соединений, пестицидов и других веществ, способных отрицательно воздействовать на экосистему и среду обитания человека;

площадей загрязнения почв, пород зоны аэрации, воздушной среды, подземных и поверхностных вод, участков с фоновой концентрацией веществ, превышающей ПДК;

содержания загрязняющих веществ в растительном покрове, приземной атмосфере, снежном покрове, участках скопления радиоактивных элементов;

распределения опасных геологических явлений, торфяников, карстовых полостей и других геологических объектов.

Итоговым документом ГЭИК среднего масштаба является геоэкологическая карта, которая представляет собой интегрированную карту всей геоэкологической информации. На основе данной карты составляют карту оценки геоэкологической опасности (геоэкологического районирования), на которой выделяют площади с различной оценкой геоэкологической ситуации и площади с особыми условиями хозяйственной деятельности и природопользования.

Методика проведения полевых работ. Как в подготовительный период, так и в процессе проведения полевых работ осуществляется дешифрирование аэрофото- и космоснимков. Эти работы в обязательном порядке сочетаются с наземными маршрутными наблюдениями. В состав последних входят геологические наблюдения, геофизические — площадные и профильные работы, геохимические, инженерно-геологические, гидрогеологические, горно-буровые и геокриологические наблюдения с обязательным опробованием наиболее опасных и экологически чистых участков.

В пределах городских агломераций и крупных горно-промышленных районов наиболее эффективным является применение ИК-тепловой и радиотепловой съемок. В районах с интенсивным атмосферным переносом загрязняющих веществ целесообразно использовать аэрозольную съемку.

В процессе дешифрирования аэрофото- и космоснимков можно получить прямую информацию о характере рельефа, разломной тектонике, характере распределения гидрографической сети и характере берегов водоемов и масштабах подмыва, проявлении экзогенных геологических процессов, характере почвенного покрова, частично о составе и залегании коренных горных пород, техногенных объектах, ореолах распространения техногенных загрязнений геологической среды, зонах интенсивной пылевой нагрузки.

По материалам многозональных аэрофотосъемок выбирают площади опробования на биогеохимические исследования. Большую роль при этом играют синтезированные изображения. Дополнительно могут быть использованы материалы проводимых ранее ИК-тепловой и аэрогаммасъемок.

Геологические исследования дают возможность установить породный состав отложений, выявить их фациальную принадлежность, мощность и распространение на площади как покровных (четвертичных), так и более древних отложений, формы проявления разломной тектоники и сейсмотектонических явлений, естественную

радиоактивность, характер проявления и интенсивность карстообразования, характер и интенсивность проявления неотектонических движений, выявить связь между ландшафтами, рельефом и геологическим строением исследуемого района.

Горно-буровые работы дают возможность закартировать и опробовать покрытые покровными отложениями территории. Кроме бурения скважин (ручное и механическое бурение с помощью небольших переносных буровых установок), в зависимости от рельефа местности осуществляют расчистку обнажения и проходку канав и шурфов, из которых отбирают образцы на инженерно-геологические и геохимические анализы.

Картировочное бурение производится до подошвы первого от поверхности выдержанного водоносного горизонта или до массивных коренных пород. В криолитозоне его проводят до подошвы таликов и межмерзлотных вод. В районах распространения болот скважины пробуривают до залегания минерального дна. На типичных оползневых телах желательнее бурить несколько скважин с отбором образцов на гранулометрический анализ и для определения влажности пород. Все скважины бурят с обязательным полным отбором керна, который в дальнейшем расходуется на анализы (минералогический, гранулометрический, химический, физико-химический и т. д.).

Ландшафтно-индикационные исследования сводятся к картированию характерных внешних особенностей местности в качестве индикаторов литолого-петрографических, фациальных, гидрогеологических, геокриологических и инженерно-геологических условий. Основными индикаторами являются рельеф, состав четвертичных и древних пород, орогидрография, растительные сообщества в сочетании с геологическим строением района.

Геофизические методы включают электроразведку, сейсморазведку методом преломленных волн, гравиразведку, каротаж скважин и радиометрию.

Электроразведка в комплексе с сейсморазведкой и каротажом скважин позволяют провести литолого-петрографическое расчленение разреза, выделить зоны активной трещиноватости, трассировать по площади и на глубину разрывные структуры, оценить засоленность пород зоны аэрации, минерализацию подземных вод и ее изменение по площади и в разрезе, выявить гидрогеохимические аномалии, в том числе в зонах разломов, и загрязнения подземных вод.

С помощью сейсморазведки определяют положение водоупорных пород в зоне аэрации и насыщения. Сейсмо- и электроразведкой изучают потенциально опасные селевые массивы.

Геохимические работы представляют собой комплекс работ, сходных с теми, которые проводят при геохимических поисках месторождений полезных ископаемых.

Геохимические исследовательские работы в полевых условиях сводятся к литогеохимическому изучению почв и почвообразующих пород; геохимическому опробованию покровных отложений; биогеохимическому опробованию растительного покрова; геохимическому изучению отложений временных потоков, пойменных отложений, торфяников и отложений бессточных впадин; геохимическому опробованию пылевых выбросов путем изучения снежного покрова, опробованию легких горных выработок, керн скважин, расположенных по профилю и по преобладающему направлению розы ветров газопылевых выбросов; гидрогеохимическому изучению состава поверхностных вод; фитогеохимическому исследованию растительного покрова на разных уровнях; радиогеохимическим исследованиям, состоящим из определения концентрации и особенностей распределения природных и техногенных радиоактивных элементов и радионуклидов в геологических образованиях, почвенных разрезах, снежном и растительном покрове.

Сеть опробования составляют из расчета одна проба на 4 км². В лесной и таежной зонах возможно разрежение сети опробования — одна проба на 25 км². В районах распространения многолетнемерзлых пород, подверженных техногенному воздействию, отбирают одну пробу на 4—7 км², в лесостепных и степных районах — одну пробу на 9—12 км², на орошаемых территориях — одну пробу на 7—9 км².

При изучении радиоактивных аномалий выделяют три типа опробования. Одни связаны с продуктами техногенных процессов, вторые обусловлены повышенной природной остаточной радиоактивностью горных пород (гранитные массивы, месторождения урана) или материалами дорожного покрытия, облицовки зданий, третьи связаны с авариями ядерных установок, халатным хранением и использованием радиоактивных изотопов без выполнения правил безопасного ведения работ.

Гидрогеологические работы направлены на определение основных параметров и процессов, характеризующих гидрогеологические условия региона, с помощью которых определяют состояние и динамику подземной гидросферы, прямо или косвенно воздействующую на геоэкологическое состояние региона. Изучение проводится в процессе специальной среднемасштабной гидрогеологической съемки, которая дополняется геофизическими, аэрокосмическими, водно-гелиевыми и гидрогеохимическими исследованиями.

В процессе инженерно-геологических работ должны быть изучены и выявлены: источники техногенных воздействий на горные толщи и ландшафтные обстановки; характер воздействия технических средств при проходке подземных горных выработок, котлованов и карьеров, тоннелей с помощью дешифрирования аэро- и космоснимков и наземного обследования; площади, где произошли техногенные изменения горных пород, основные тенденции разви-

тия этих процессов. Кроме того, дается качественный прогноз изменения горных толщ при возведении тех или иных инженерно-геологических сооружений. При геоэкологических, инженерно-геологических исследованиях применяют широкий комплекс аэрокосмических, геологических, ландшафтно-индикационных, геофизических, горно-буровых, химико-аналитических работ.

При *геокриологических исследованиях* детально изучают опорные разрезы и опорные площадки, которые отбирают в процессе дешифрирования аэро- и космоснимков с учетом сложности и степени охвата геокриологических условий, степени и видов техногенного воздействия на конкретную территорию.

В процессе геокриологических работ используют геофизические методы, как профильные, так и каротажные, которые позволяют получить подробную информацию о глубине залегания многолетнемерзлых пород и их мощности, наличии в разрезе повышенных зон льдистости; определяют объемную суммарную влажность и плотность горных пород; методом радиоизотопного каротажа скважин рассматривают изменчивость инженерно-геокриологических условий, а методом электропрофилеирования — степень их однородности внутри природно-территориальных комплексов; осуществляют картировочное бурение на глубину 10—15 м для инженерно-геокриологического расчленения разреза; проводят опробование горных пород и при этом изучают распределение температуры и строение многолетнемерзлых горных пород. В лабораторных условиях определяют суммарную влажность и льдистость пород, используют сведения стационарных наблюдений за температурным режимом горных пород.

В процессе проведения среднемасштабных работ по ГЭИКу выполняют *комплексное опробование* водоразделов, склонов, долин и конечных бассейнов твердого и жидкого стока, т.е. болот, рек, озер, морских побережий и шельфовой части, а также бессточных солончаковых понижений. Все работы по опробованию проводят с учетом данных дешифрирования.

В процессе исследований в горных выработках и скважинах проводят опробование почвенного покрова, биогенной массы, почвообразующих и коренных пород. Почвенный разрез опробуют после разделения его на горизонты по генетическим признакам и свойствам. Почвообразующие, подстилающие и коренные горные породы, вскрытые шурфами и канавами, а также открытые обнажения опробуют штурфным или точечным методом. Керн пробуренных скважин опробуют штурфным методом по литологическим горизонтам. Предварительное разделение скважин проводят по каротажным исследованиям. В шурфах и скважинах сразу же после вскрытия горизонта при необходимости отбирают пробы для атомно-геохимических исследований с герметизацией материала в стеклянных пробоотборниках.

Радиоактивность стенок шурфов и канав измеряют гамма-спектрометром.

Пробы озерных донных отложений, так же как пробы донных отложений в водохранилищах, отбирают вне литоральной зоны. Материал должен быть представлен смесью органического и минерального веществ. В озерах, расположенных на «выходе» техногенных потоков, жидкий сток, пылевые и дымовые шлейфы, транспортные сети, отложения характеризуют объединенной пробой или усредненными пробами.

В болотах отбирают пробу из верхнего слоя торфяника обычно до глубины 20—30 см, объемом не менее 500 см³. Участки болот в местах аккумуляции загрязняющего вещества опробуют объединенной или усредненной пробой.

На участках развития техногенных отложений отбирают или объединенные или усредненные пробы с каждого интервала глубиной до 1 м.

Геохимическое опробование пылеватых выпадений осуществляют в результате отбора проб снега на всю мощность снежного покрова, в горных областях — в результате опробования снегофирновых накоплений и отбора приземной части воздуха в специальные пробоотборники.

Пробы отбирают в конце зимнего сезона по региональным профилям, ориентированным по направлению преобладающего направления ветров и при необходимости — перпендикулярно ему, на водоразделах, склонах, террасах, поймах рек, а также на участках газопылевых выбросов. Объем пробы снега должен соответствовать 1 л талой воды. Опробование проводят с учетом элементов рельефа и их экспозиции по отношению к основному направлению ветра.

Биогеохимическому опробованию подлежат молодые ветви древесно-кустарникового подроста в возрасте 5—10 лет и низшие формы растительности — лишайники, мхи, обладающие повышенной способностью к аккумуляции техногенных загрязнений. Масса проб растительности должна быть не менее 100 г.

Гидрохимическое опробование поверхностных вод выполняют таким образом, чтобы обследовать весь поверхностный сток. Реки длиной 5—10 км опробуют в верховьях и в приустьевой части, более протяженные — через каждые 5—10 км выше и ниже впадения боковых притоков. Интервалы опробования крупных рек составляют 10—25 км.

В областях аридного климата проводят литогеохимическое опробование аллювиально-пролювиальных и делювиальных отложений сухих русел и конусов выноса.

Подземные воды на проведение различных анализов отбирают при проходке картировочных и поисковых, а также эксплуатационных водозаборных скважин, из родников и самоизливающихся

скважин, днищ горных выработок. Наименее пригодна для гидрогеохимического анализа вода из колодцев и родников, расположенных на склонах ручьев.

При радиогеохимических исследованиях опробованию подлежат карьеры, отвалы, хвостохранилища горно-добывающих и промышленных предприятий, западинные формы рельефа, шлюпные поймы и плесы.

Акватории морских бассейнов в шельфовой части, а также экологически опасных объектов, расположенных на побережье или в удаленных местах. Необходимо проводить картирование территорий, на которых расположены опасные объекты, и оценивать их влияние на состав донных осадков и загрязнение акватории. В пределах водных бассейнов проводят гидродинамический анализ с выделением в их пределах абразионных и аккумулятивных форм рельефа. Особое внимание уделяют оценке волно-ветрового режима течений и динамике наносов, изучению вещественного состава, физических свойств и степени загрязненности современных осадков в связи с загрязнением морских вод, изучению разгрузки подземных вод.

Во время геолого-экологических исследований береговых зон и шельфовых областей проводят эхолотовый промер, высокочастотное, сейсмоакустическое профилирование, гидролокацию бокового обзора, гидрогазопрофилирование, фототелепрофилирование, ИК-радиометрию для дистанционного измерения естественной и антропогенной теплоотдачи морской поверхности, лазерное дистанционное зондирование надводной части атмосферы. Все вышеперечисленные экологические исследования осуществляют с борта исследовательского судна. Одновременно отбирают донные биоценозы, проводят геоморфологические, структурно-тектонические, геохимические и литологические исследования, изучают особенности разреза морских отложений и коренного ложа дна.

По ходу движения судна образцы и пробы отбирают с помощью ковшевых и колонковых пробоотборников; скважины бурят со льда в мелководной части шельфа морских бассейнов и со льда озер.

Исследования со специальных судов проводятся в основном по профилям, расстояние между которыми может составлять от 2 до 5 км, а между точками отбора проб 1—2 км. Детальность опробования снижается на абразионных и денудационных формах рельефа и сгущается в области развития аккумулятивных отложений.

Разгрузку подземных вод в пределах морских акваторий изучают с помощью дешифрирования аэро- и космоснимков, специальных гидрогеохимических и геофизических исследований (сейсмоакустические, электрометрические и геотермические методы)

Степень взаимодействия береговых водозаборов с морскими водами определяют наблюдением за качеством воды и на основе данных режимных исследований по скважинам.

Необходимо особо подчеркнуть, что геолого-экологические исследования в акватории морских бассейнов должны сочетаться с геологическими, геофизическими, геохимическими, гидрофизическими и гидрохимическими исследованиями, которые проводятся на морских побережьях.

Специальные геолого-экологические исследования и издание разно-масштабных карт соответствующего профиля начались в России в 70—80-е годы XX в. Геолого-экологические исследования основаны на проведении комплекса методов геологического и физико-географического направлений, среди которых наиболее широко применяют геологический, геохимический, геофизический, гидрогеологический, геокриологический, инженерно-геологический, геоморфологический и аэрокосмический методы. При геолого-экологических исследованиях используют специальное геоэкологическое картирование территорий различного масштаба. Оно проводится в четыре этапа. Большое значение имеет среднемасштабное геоэкологическое картирование, которое проводится в три периода. Методы полевых исследований существенно отличаются от камеральных и картосоставительских работ.

Контрольные вопросы

1. Какие геоэкологические карты были изданы в России в 80—90-е годы XX в.?
2. Что входит в концепцию геоэкологического геопотенциала?
3. На чем основаны методы геоэкологических исследований?
4. На каких методах и принципах основано проведение геоэкологического картирования?
5. В чем состоит этапность геоэкологических работ?
6. Какие объекты подлежат исследованиям при среднемасштабных геоэкологических работах?
7. На чем основываются методы проводимых геоэкологических работ?
8. Какие документы и виды анализов разрабатывают при камеральных работах?
9. Какие существуют методы опробования?
10. Какие виды горно-геологических работ проводятся при геоэкологических исследованиях?

Литература

- Бахтеев М. К.* Геоэкология. — Дубна, 1997.
Королев В. А. Мониторинг геологической среды. — М., 1995.
 Теория и методология экологической геологии / Под ред. *В. Т. Трофимова*. — М., 1997.
 Требования к геолого-экологическим исследованиям и картированию / Под ред. *А. И. Бурдэ*. — М., 1991.

14.1. Экологические нарушения на территории России

Значительные пространства территории России с ненарушенными или со слабонарушенными экосистемами, сохранившиеся до настоящего времени, являются не столько результатом правильного и экологически ориентированного хозяйствования, сколько связаны с огромными неосвоенными территориями России. Как указывалось выше, именно сохранность территорий с ненарушенными экосистемами способна сыграть положительную роль в глобальном экологическом балансе и способствовать выводу мировой системы из глобального кризиса. Вместе с тем эта роль была бы более весомой, если бы не разрушение естественных экосистем на таких огромных площадях, которые произошли на территории бывшего Советского Союза, когда функционировала централизованно управляемая экономика.

Экономика СССР, как свидетельствуют многочисленные данные, хотя и обеспечила максимальную сохранность естественных экосистем, но не добилась более рационального использования земельных и других возобновляемых ресурсов и полезных ископаемых. Индустриализация была ориентирована на создание главным образом военно-промышленного комплекса, и, таким образом, одностороннее развитие экономики наносило невосполнимый ущерб природным экосистемам. Это было связано не только с изъятием огромного количества специфического набора полезных ископаемых и особенностями их ускоренной переработки, но и с изъятием больших площадей земель, на которых проводились испытания новых систем вооружений, в том числе и ядерного. Последнее особенно сильно отразилось на экологической чистоте среды, так как в процессе создания ядерного оружия и его испытаний возникала угроза экосистемам из-за слишком высокого радиационного фона.

Настоящая глава написана с использованием материалов К. С. Лосева (1993, 1995, 2000, 2001).

Индустриальная основа Советского Союза, созданная в 30-е годы XX в. тоталитарной системой, была связана с необходимостью создания надежного и мощного ядерного щита. Темпы использования инноваций в военной области существенно превы-

шали инновации в другие отрасли промышленности. Поэтому, когда развитые западные страны после первого энергетического кризиса перешли к структурной перестройке экономики, осуществили быстрый переход от экстенсивного пути развития к интенсивному, Советский Союз стал быстро отставать по всем экономическим показателям, но продолжал жить реализациями планов создания грандиозных строек. Результатом такого подхода стали серьезные загрязнения окружающей среды. Но централизованно управляемая экономика, несмотря на грандиозное потребление вещества и энергии, занималась проблемами охраны окружающей среды. Однако скорее всего это было вызвано не заботами об окружающей среде, а поддержанием на должном уровне международного престижа государства. Именно это заставляло руководство страны выделять ассигнования на охрану окружающей среды, хотя в большинстве случаев они использовались недостаточно эффективно. Планы по созданию очистных сооружений и другие охраняемые мероприятия не выполнялись, а заинтересованные ведомства скрывали истинное положение дел и даже сами создавали экологически мало обоснованные и опасные проекты. Примером может служить деятельность Министерства водного хозяйства, которое создало и всячески лоббировало проекты по переброске стока северных и сибирских рек на юг. Большой ущерб наносил и сам подход к реализации проектов. В большинстве случаев задолго до утверждения проектов начинались подготовительные работы, но по прошествии некоторого времени выявлялись несовершенство и даже опасность проектов. Так, например, задолго до утверждения проекта о переброске стока северных рек на юг в европейской части России проводились не только изыскательские работы, но и началось строительство каналов и даже было произведено два малообоснованных подземных ядерных взрыва на участке трассы будущего канала.

Надо заметить, что точно такой же подход сохранился и в наши дни в период развития рыночных отношений. В качестве примера можно привести очередную «стройку века», которую пытались осуществить в конце 90-х годов XX в. Был выдвинут широкий рекламированный проект строительства скоростной пассажирской магистрали Москва—Санкт-Петербург. Несмотря на то что этот проект включал массу экологических ошибок и мог нанести непоправимый вред национальным паркам и заповедным землям в районе Валдая и подвергался жесткой критике экологами, в Санкт-Петербурге, в центре города, началось сооружение огромного котлована под будущий комплекс здания вокзала, торговых и увеселительных центров и гостиницы. Стали проводиться работы и по созданию трассы будущей железнодорожной магистрали. Огромные затраты не останавливали строителей, которые считали, что разрешение на строительство магистрали рано или поздно будет

получено. Но после того как реализация проекта повисла в воздухе, строительные работы были законсервированы.

С точки зрения экологических и экономических последствий централизованно управляемая экономика оказалась природоразрушающей, и таким же стал ухудшенный вариант стихийной рыночной системы. И та и другая ничего общего не имеют с экономикой, которая развивается на базе свободной конкуренции. Находясь в окружении свободных демократических стран, централизованно управляемая экономика утратила свою конкурентоспособность и была вытеснена. Советский Союз, для того чтобы повысить конкурентоспособность, стал истощать свою природную среду. Причем на отдельных участках уровень и темпы роста истощения начали достигать угрожающих размеров. Это положение можно проиллюстрировать примерами освоения целинных и залежных земель, создания зоны по выращиванию хлопчатника, широко-масштабной разведки и добычи нефти и газа на севере европейской части и в Сибири.

В корне неправильная экологическая и экономическая политика привели к тому, что на территориях многих бывших республик СССР полностью были деформированы естественные экосистемы. Эти независимые государства вошли в список стран с отсутствующими или сохранившимися в незначительных размерах ненарушенными природными территориями. К ним можно отнести Украину, Белоруссию, Молдавию, Прибалтийские страны и государства Закавказья. Таджикистан, Кыргызстан и Туркменистан все сильнее вовлекаются в так называемый Аральский экологический кризис. Практически во всех центрально-азиатских республиках в результате широкого ирригационного строительства и перехода на возделывание монокультуры — хлопчатника — был нарушен природный баланс. Работы по преодолению кризисных ситуаций в регионе в дальнейшем будут требовать все больших энергетических затрат для очистки среды и снижения темпов деградации почв.

Хотя примеров масштабного разрушения природных экосистем в России довольно много, остановимся лишь на некоторых. Первым крупным нарушением естественных экосистем были так называемые великие стройки коммунизма — система плотин и водохранилищ на реках Волга и Кама. Они превратили великую русскую реку в искусственный водоем и резко снизили стадо осетровых. Сами водохранилища превратились в накопители поллутантов, а в их пределах стали возникать разнообразные негативные стихийные явления — водная эрозия, эвтрофикация, асидификация, подтопление и размыв берегов, сейсмическая напряженность и т.д.

Другой пример с негативными последствиями — освоение целинных и залежных земель в Казахстане и на юге Западной Сибири. Их освоение только в первое время дало положительные ре-

зультаты, которые выразились в прибавлении урожайности и сбора зерновых культур, но в дальнейшем стали развиваться негативные процессы водной и ветровой эрозии, что привело к практически полной деградации почвенного покрова.

Далее наступила очередь реализации проекта по созданию собственной базы по выращиванию хлопка. Министерством водного хозяйства были проведены широкомасштабные работы по строительству гидротехнических оросительных систем. Результатом таких работ стало полное прекращение стока рек Сырдарья и Амударья в Аральское море. Вся вода этих рек забиралась и затрачивалась на орошение полей хлопчатников. Мало того что катастрофически быстро стало мелеть и сокращаться в размерах Аральское море, но при этом возникла обширная зона загрязнения пестицидами и удобрениями поверхностных и подземных вод, а также питьевых источников в Средней Азии. Все это привело к серьезному нарушению экосистем на обширных территориях. В настоящее время эта деятельность называется Аральской экологической катастрофой.

Серьезной региональной катастрофой с еще не полностью выясненными последствиями является нарушение природной среды из-за крупномасштабной деятельности по разведке и добыче нефти и газа на севере Западной Сибири. В настоящее время на этой территории все сильнее развиваются процессы, которые приводят к нарушению ветландов, почвы, мерзлоты и живых экосистем. Широко используемые при сейсмозондировании слабые и сильные взрывы нарушают подземные флюидные системы, изменяют давление подземных водоносных горизонтов, а значит, приводят к развитию негативных процессов в недрах Земли, которые иногда отражаются на поверхности.

Негативные экологические последствия всех проводимых грандиозных строек оказались значительными, а ожидаемого экономического эффекта не получилось. В экономическом отношении все произошло с точностью наоборот. За два десятилетия, в 70-е и 80-е годы XX в., Советский Союз превратился в крупнейшего покупателя зерна на мировом рынке, урожайность хлопчатника резко снизилась, упали и его сборы, а природе Средней Азии и здоровью его населения был нанесен огромный ущерб. Несмотря на то что число эксплуатационных скважин и количество богатейших месторождений существенно увеличилось, добыча нефти постоянно снижалась, так как ее отбор из продуктивных горизонтов оказался намного ниже мирового уровня.

По данным многочисленных авторов и, в частности, К. С. Лосева и М. Д. Ананичевой (2000), естественные экосистемы разрушены в России на 35% территории страны, что составляет 6 млн км². На душу населения приходится немногим более 4 га таких территорий. В Западной Европе на душу населения прихо-

дится менее 1 га территории с разрушенными экосистемами, в Японии — около 0,3 га, а в Китае — менее 0,6 га. Экосистемы разрушены в основном в европейской части России, особенно в средней и нижней части бассейна р. Волга и на Северном Кавказе.

Из 6 млн км² территорий с разрушенными естественными экосистемами 2,2 млн км² составляют сельскохозяйственные земли, около 2 млн км² — разрабатываемые леса, а остальная часть занята постройками и представляет собой инфраструктуру, затопленную водохранилищами или занятую вторичными лесами.

В России до сих пор низкая эффективность использования экологического пространства и очень высокая степень воздействия хозяйства на окружающую среду. На каждый квадратный километр территории Японии создает почти в 214 раз больше внутреннего валового продукта, чем Россия, а более близкая по природным условиям Финляндия — в 3,5 раза больше.

14.2. Выбросы парниковых газов и озоновый экран в России

Современная цивилизация использует в основном энергию, получаемую при сжигании ископаемого топлива. До середины XIX в. основным источником энергии были дрова, древесный уголь и солома. Только после 1850 г. начинается быстрый рост добычи ископаемого топлива, и оно становится основным энергоресурсом. Вместе с расширением использования ископаемого топлива, автомобильного транспорта и ростом металлургической промышленности в глобальном масштабе резко возросли выбросы в атмосферу углерода, главным образом в форме углекислого газа, образующегося при сжигании ископаемого топлива (массу углекислого газа пересчитывают в углерод с использованием коэффициента 3,664).

Согласно существующим расчетам, за вторую половину XX в. наблюдались два периода спада эмиссии углерода в атмосферу. Один пришелся на период с 1981 по 1983 г. и был связан с внедрением энергосберегающих технологий, а второй произошел в 1992—1994 гг. и был вызван увеличением использования природного газа в тепловой энергетике вместо угля и нефти. Тем не менее, несмотря на это, ежегодная эмиссия углерода в атмосферу составляла около 84 Мт.

В зависимости от уровня экономического развития и численности населения страны сжигают различное количество минерального топлива и вследствие этого доли их эмиссии разные (табл. 14.1).

До распада Советский Союз по эмиссии углерода занимал второе место после США. После образования Российской Федерации сведения об эмиссии углерода не публиковались. Однако суще-

Таблица 14.1

Эмиссия углерода 20 крупнейших стран (по К. С. Лосеву)

Страна	Эмиссия углерода, Мт/год	Эмиссия на душу населения, т	Эмиссия углерода на 1 млн дол. ВВП	Рост эмиссии в 1990—1994 гг., %
США	1371	5,26	210	4,4
Китай	835	0,71	330	13,0
Россия	455	3,08	590	-24,1
Япония	299	2,39	110	0,1
Германия	234	2,89	140	-9,9
Индия	222	0,24	160	23,5
Великобритания	153	2,63	150	-0,3
Украина	125	2,43	600	-43,5
Канада	116	3,97	200	5,3
Италия	104	1,81	110	0,8
Франция	90	1,56	80	-3,2
Польша	89	2,31	460	-4,5
Южная Корея	88	1,98	200	43,7
Мексика	88	0,96	140	7,1
Южная Африка	85	2,07	680	9,1
Казахстан	81	4,71	1250	—
Австралия	75	4,19	230	4,2
Северная Корея	67	2,90	960	—
Иран	62	1,09	270	—
Бразилия	60	0,39	70	15,8

ствуют данные, согласно которым эмиссия углерода в России на начало 90-х годов XX в. оценена в 600 Мт. Спад производства после 1994 г. привел к сокращению потребления энергии более чем на 20 %. Исходя из этого эмиссия углерода в атмосферу в 1994—1995 гг. оценена в 455 Мт. В связи с падением производства снижаются выбросы и других газов. Так, с 1994 по 1998 г. эмиссия диоксида серы снизилась на 8 %, оксидов азота — на 9,5 %, твердых частиц — на 21 %. На основе этих данных К. С. Лосев предполагает, что величина эмиссии углерода в атмосферу в 1998 г. составила не

менее 420 Мт, что соответствует эмиссии на душу населения (2,9 т углерода в год). К 2000 г. при сохранении тенденции экономического роста эмиссия углерода в атмосферу постепенно росла.

Дополнительные выбросы в воздушное пространство России осуществляют ряд стран, обладающих мощными источниками эмиссии углекислого газа.

Кроме эмиссии углерода за счет сжигания ископаемого топлива в атмосферу поступает углекислый газ, выделяющийся при производстве цемента, сжигании попутного газа в процессе нефтедобычи и на нефтеперерабатывающих предприятиях, а также при разрушении биомассы как естественным путем, так и в результате хозяйственной деятельности человека. Оценка общей эмиссии углекислого газа за счет разрушения биомассы к началу 90-х годов XX в. приводится в работе К. С. Лосева (2001) и в табл. 14.2.

Суммируя все имеющиеся данные по эмиссии парниковых газов на территории России, можно заключить, что в 2000 г. эмиссия углерода в результате сжигания ископаемого топлива, работы цементной промышленности, сжигания попутного газа и растительной биомассы составляла 455 Мт/год, или около 6—10 % от глобальной эмиссии. Сравнение данных показывает, что пограничные государства как с востока — Китай, Япония и Корея, так и с запада — страны Европы, выбрасывают в атмосферу больше, чем Россия (К. С. Лосев, 2001).

Значительный парниковый эффект создается за счет эмиссии других парниковых газов — метана, хлорфторуглеродов, оксида азота, а также озона. Наибольший вклад в парниковый эффект дают пары воды (около 60 %), углекислый газ — около 20 %, метан — 18 %, остальное приходится на оксиды и хлорфторуглероды.

Таблица 14.2

Общая эмиссия углекислого газа за счет разрушения биомассы к началу 90-х годов XX в.

Тип биомассы	Разрушенная биомасса, млн т/год	Эмиссия углерода, млн т/год
Саванны	3690	1660
Сельскохозяйственные отходы	2020	910
Тропические леса	1260	570
Сжигание дров	1430	640
Умеренные и бореальные леса	280	130
Древесный уголь	20	30
Всего	8700	3490

Природным источником метана являются мангровые заросли, болота умеренного климата, тундровые ландшафты, а также выбросы скопленных углеводородов через трещины, находящиеся вблизи поверхности, месторождения каменного и бурого угля. Основным источником антропогенных выбросов метана является энергетика (26%), газы, выделяемые при ферментации пищи домашними животными (24%), выращивание риса (17%), захоронение отходов (11%), остальное приходится на разложение биомассы, навоза и бытовых стоков. Все возрастающее количество метана приходится на районы добычи, транспортировки и переработки нефте- и газопродуктов. Они отнесены в разряд выбросов энергетической промышленности. Суммарный антропогенный выброс метана составляет 500—800 Мт/год. Доля России в этом выбросе пока невелика и составляет, по разным оценкам, от 15 до 50 млн т. Однако наблюдается неуклонный рост выбросов метана с территории России. По приблизительным подсчетам в связи с ростом добычи ископаемого топлива, расширением производств по его переработке (нефтехимические производства), огромным объемом перекачки нефти и газопродуктов по трубопроводам и перевозки автомобильным и железнодорожным транспортом, ростом численности крупного рогатого скота, усиленным антропогенным заболачиванием и т.д. доля России составляет около 10% глобальной эмиссии метана.

Хлорфторуглероды не только являются парниковыми газами, но и считаются главными веществами, разрушающими озоновый слой. Россия подписала Монреальский протокол в 1988 г., согласно которому предусматривается замораживание производства пяти наиболее широко используемых хлорфторуглеродов. Если в 1990 г. Россия производила 110 140 т хлорфторуглеродов, то в 1996 г. производство их снизилось до 17 122 т.

Хлорфторуглероды — долгоживущие искусственные вещества. Они сохраняются в атмосфере десятки лет и не вступают ни в один из существующих в природе круговорот веществ. Считается, что даже после прекращения их производства к 2005 г. они в течение XXI в. будут оказывать влияние на парниковый эффект и разрушать озоновый слой, но с течением времени их роль будет постепенно снижаться. И в то же время ожидать полного прекращения их производства в 2005 г. не приходится. Их будут продолжать производить развивающиеся страны.

14.3. Особенности глобального потепления на территории России и состояние озонового щита

Изменение погодных и климатических условий. Факт глобального потепления установлен прямыми инструментальными наблюдениями. Они со всей очевидностью свидетельствуют о потепле-

нии в целом как в течение всего XX в., так и особенно об ускорившемся потеплении за последние 15—20 лет, причем потепление наблюдается как в глобальном масштабе на всем земном шаре, так и особенно сильно в северном полушарии. Однако до сих пор остается неясным, как происходит изменение температур в каждом отдельно взятом районе или регионе и каким образом оно отражается на природных системах. Все еще окончательно не выяснено, как эти изменения приземных температур в глобальном и региональном плане связаны с изменениями содержания концентрации парниковых газов в атмосфере, изменениями поверхности и площади суши и океана. Даже окончательный ответ на вопрос, связаны ли они напрямую с хозяйственной деятельностью человека или с происходящими природными изменениями, дать весьма трудно. Такая неопределенность вызвана неадекватностью климатических моделей, неполнотой информации и недостаточным знанием прямых и обратных связей в климатической системе Земли.

Необходимо выяснить, насколько важна роль парниковых газов, кроме водяного пара, в климатических изменениях, и оценить роль биоты. Между тем до сих пор отсутствуют хотя бы приблизительные количественные модели и выводы основываются лишь на качественных характеристиках. Естественная биота регулирует не только влагооборот на суше, а следовательно, меняет содержание водяного пара в атмосфере, но и является важнейшим регулятором содержания в атмосфере углекислого газа. Последний не только перерабатывается растительностью в процессе фотосинтеза, но его значительная часть растворяется в Мировом океане и водоемах суши. В то же время другой парниковый газ — метан вследствие своей легкости и высокой подвижности быстро достигает верхней границы тропосферы, где вступает в химические реакции с озоном. Он фотохимическим путем расщепляется на водород и углекислый газ. Водород поступает в космическое пространство, а углекислый газ начинает участвовать в парниковом эффекте, медленно опускаясь на земную поверхность (Н.А. Ясаманов, 2002, 2003).

Антропогенное влияние человека на климат выражается не только в выбросах парниковых газов вследствие хозяйственной деятельности, но и в видоизменении природных ландшафтов. Своими действиями человек нарушает механизм влагооборота на суше, меняет природные ландшафты, оголяя земную поверхность, а следовательно, меняет ее альбедо и изменяет концентрации аэрозолей в атмосфере.

Наиболее теплым в мире было последнее десятилетие XX в. Эта же тенденция сохранилась и в первые годы нового тысячелетия. За весь XX в. температура приземной части воздуха поднялась почти на 1 °С, что превышает ее изменение за последнее тысячелетие. В 90-е годы XX в. было на 0,75 °С теплее по сравнению с нормой. В это

же время существенно возросло число стихийных катастрофических явлений атмосферного характера. Все чаще стали повторяться опасные метеорологические явления.

На территории России зафиксировано существенное потепление климата в XX в. Потепление, начавшееся в 1891 г., к 1998 г. в среднем было охарактеризовано трендом $0,9^{\circ}\text{C}$. Особенно интенсивным тренд оказался для периода 1991—1998 гг., который составил $2,6^{\circ}\text{C}$ за сто лет. Наиболее теплым для всех регионов России был 1997 г. Средняя годовая температура повсеместно была выше нормы на $1,4^{\circ}\text{C}$. Хотя в 1998 г. средняя годовая температура оказалась близкой к норме, в следующие годы (1999, 2000 и 2001 гг.) она вновь оказалась выше нормы.

Если для среднегодовых температур установлен достаточно точный тренд, сказать это относительно тенденций изменений атмосферных осадков затруднительно. В целом для Евразии с 1901 по 1991 г. имела место тенденция уменьшения годовых сумм атмосферных осадков, составляя в среднем 12 мм за 100 лет. Однако в 1997 г. годовые суммы атмосферных осадков в целом для территории России были близки к норме. То же можно сказать и о периоде 1998—2001 гг. Однако региональное распределение атмосферных осадков было достаточно пестрым. В Западной Сибири и на Дальнем Востоке осадки превышали годовую норму. В Прибайкалье и Забайкалье наблюдалась очень слабая отрицательная тенденция. На европейской части России наблюдалась следующая картина: если в ее центральной части была зафиксирована среднегодовая норма, то на севере и на юге существовали тенденции к увеличению среднегодовых норм атмосферных осадков.

Состояние озонового щита в России. Озон, находящийся в тропосфере, является не только парниковым газом. Главная его особенность заключается в том, что на границе стратосферы и тропосферы он создает озоновый щит, защищающий Землю от губительного для живого вещества ультрафиолетового излучения Солнца. Для Земли в целом было выявлено, что скорость уменьшения содержания озона в средних широтах обоих полушарий начиная с 1984 г. составляла 4—5 % за 10 лет. Рекордно низкие значения были отмечены в 1992—1994 гг. В северном полушарии над густонаселенными районами содержание озона оказалось в 4 раза ниже нормы.

Состояние озонового слоя над территорией России характеризуется определенным своеобразием. Пониженное содержание озона отмечено над Кольским полуостровом и северо-западом России — на 20—25 % ниже по сравнению с Северо-Восточной Сибирью и Камчаткой. В январе 1995 г. снижение уровня озона на 15—20 % было отмечено над Западной и Средней Сибирью. В то же время на северо-западе России оно было ниже на 20 %.

Начиная с конца марта до середины мая 1997 г. аномально низкое содержание озона, на 30 % ниже обычной нормы, наблюда-

лось над Арктикой и значительной частью Восточной Сибири. Причем размеры этой озоновой дыры достигали 3000 км в диаметре.

Отмечается, что если в 70-е и 80-е годы XX в. снижения уровня озона над территорией России происходили лишь эпизодически, то в 90-е годы озоновые дыры стали фиксироваться над обширными районами страны достаточно регулярно. Некоторые исследователи связывают возникновение озоновых дыр над Арктикой и над высокими широтами в последние десятилетия XX в. с вторжением необычайно холодных стратосферных фронтов.

В 1990 г. в России производилось 197 490 т озоноразрушающих веществ, из которых 41 % шло на экспорт при мировом производстве их 650 тыс. т. в год. В 1996 г. производство этих веществ в России снизилось до 477 575 т, из них 38 % шло на экспорт. В то же время производство разрушающих веществ снизилось до 110 000 т. В 2000 г. Россия должна была прекратить выпуск озоноразрушающих веществ для промышленных целей. Мировым сообществом рекомендовалось России производить 226 т в год хлорфторуглеродов для медицинских целей.

14.4. Основные загрязнители атмосферного воздуха в России

Аэрозоли. Атмосферные аэрозоли представляют собой взвешенные в воздухе частицы, которые могут поступать непосредственно из источников, например при сжигании ископаемого топлива, или работе металлургических и химических предприятий, или возникать в атмосфере в результате химических преобразований таких газов, как диоксид серы, оксид азота, аммиак и летучие органические углеводороды. Это вторичные аэрозоли. На аэрозолях, размеры частиц которых меняются от 0,1 до нескольких сотен микрометров в диаметре, адсорбируются свинец и высокомолекулярные токсичные органические вещества. Аэрозоли могут быть твердыми и жидкими. Последние образуются из диоксида серы и оксидов азота при влажности 70—80 %.

Установлено, что в 1998 г. концентрация взвешенных частиц в атмосфере над европейской частью России составляла в среднем $15\text{—}20\text{ мкг/м}^3$, причем наибольшая их концентрация, достигающая 57 мкг/м^3 , наблюдалась в летние месяцы, а зимой уменьшалась до $7\text{—}8\text{ мкг/м}^3$. В азиатской части России содержание аэрозолей, несколько увеличиваясь над Уралом, затем резко снижалось и в районе оз. Байкал их концентрации падали до 1 мкг/м^3 .

Эмиссия первичных аэрозолей — пыли, сажи и золы — связана в основном с сжиганием ископаемого топлива. В то время как в соседних странах Европы наблюдаются определенные успехи в сни-

жении эмиссии твердых частиц главным образом за счет мер по установке пылеулавливающих фильтров и перехода на сжигание газа, доля России в эмиссии первичных аэрозолей по-прежнему высока и составляет около 30 %.

Естественная эмиссия твердых частиц в атмосферу превышает антропогенную. Источниками ее служат вулканы, лесные пожары, эоловый перенос с пустынных и полупустынных регионов, эрозия солончаков и почв и т. д.

В то время как антропогенная эмиссия аэрозольных частиц носит типично локальный характер, перенос первичных аэрозолей обладает глобальным характером. Так, например, пыль из пустыни Сахара была обнаружена в донных осадках Атлантического океана на удалении нескольких тысяч километров. В 1982 г. после извержения вулканов Эль-Чичон и Пинатубо в Мексике вулканическая пыль была обнаружена над Европой. Наличие повышенного содержания вулканических аэрозолей над европейской частью России в августе 1982 г. привело к существенному снижению среднесуточных температур, что было связано со снижением оптической прозрачности атмосферы. Лесные пожары приводят к снижению прозрачности атмосферы, но действие дымового аэрозоля кратковременно, он быстро вымывается из атмосферы.

При проникновении взвешенных частиц в органы дыхания человека происходят нарушения системы дыхания и кровообращения. Особенно опасно сочетание высоких концентраций взвешенных частиц и диоксида серы. Наиболее чувствительны к появлению аэрозолей люди, болеющие астмой и аллергическими болезнями.

Диоксид серы и оксиды азота. После углекислого газа и метана наибольшим по объему веществом, поступающим в атмосферу в результате хозяйственной деятельности, является диоксид серы. Его повышенное содержание вызывает не только существенные изменения окружающей среды, например выпадение кислотных дождей, но и оказывает большое воздействие на здоровье населения.

Содержание природного диоксида серы в атмосфере составляет около 100 Мт. Его главными источниками являются вулканы, окисление в воздухе сероводорода, поступающего в результате жизнедеятельности бактерий-десульфураторов, и поступление из Мирового океана диметолсульфата. В настоящее время антропогенный выброс диоксида серы вырос до угрожающих размеров.

Антропогенным путем он образуется в результате сжигания ископаемого топлива, особенно высокосернистых газов и нефтепродуктов, а также каменного угля. Диоксид серы оказывает вредное воздействие на здоровье человека, растительность, почвы и водные объекты. Вместе с оксидом азота он образует кислотные дожди, которые закисляют почву и водные системы, разрушающе воздействуя на растительные ткани.

Таблица 14.3

Эмиссия диоксида серы, тыс. т

Страна	Год		
	1980	1985	1990
Россия	12 100	11 800	9 430
Беларусь	740	690	596
Украина	3 850	3 464	2 782
Германия	7 650	7 900	5 800
Великобритания	4 898	3 724	37 780
Испания	3 319	2 190	2 316
Нидерланды	466	276	207
Польша	4 100	4 300	3 210
Франция	3 338	1 470	1 202

Эмиссия SO_2 в атмосферу России и некоторых европейских государств представлена в табл. 14.3.

По оценкам на 1985 г., антропогенная эмиссия диоксида серы в атмосферу составляла 160 Мт, а природная — 130 Мт. Из всей антропогенной эмиссии выбросы Европы составляли 50 Мт, а Северной Америки — 21 Мт, причем доля СССР, а затем России составляла 25—30 % от европейской. В последнее десятилетие XX в. выбросы диоксида серы сократились. Это было вызвано спадом производства в России и независимых государствах, а в странах Европы — за счет контролируемого выброса, широкого внедрения методов улавливания и изменения промышленной технологии. Однако в глобальном масштабе сокращения эмиссии диоксида серы не наблюдалось, что связано с непрерывным ростом уровня выбросов в странах Азии, Африки и Южной Америки.

В большинстве городов России, кроме Москвы и Санкт-Петербурга, основными источниками эмиссии диоксида серы являются энергетические объекты, промышленные предприятия, находящиеся вблизи от жилых массивов. Начиная с 1983 г., согласно опубликованным данным, выброс диоксида серы от стационарных источников неизменно уменьшался и за 10 лет сократился с 12 до 7 Мт.

В последнее десятилетие XX в. на территории России концентрация диоксида серы в атмосфере заметно снизилась. Причем над европейской частью выбросы уменьшились в 3 раза, над Уралом — в 2 раза, а в районе оз. Байкал — в 1,5—2 раза.

Оксиды азота. Выбросы оксидов азота в атмосферу в последние десятилетия неуклонно растут, так как пока не найдены сравни-

тельно недорогие способы вывода его из антропогенного круговорота. В 1985 г. его глобальная эмиссия оценивалась около 65 Мт, а к началу 90-х годов уже составляла 90—125 Мт.

Техногенное поступление азота в тропосферу происходит при сжигании ископаемого топлива и широкой сельскохозяйственной деятельности. Оксиды азота являются парниковыми газами, но их доля в этом процессе невелика. Повышенная концентрация оксидов азота оказывает неблагоприятное воздействие на дыхательные органы человека.

В последние десятилетия наблюдается неуклонное снижение эмиссии оксидов азота в атмосферу. В США и странах Западной Европы снижение происходит за счет стационарных источников, изменения технологий производства и установки специальных окислителей, а в России снижение связано со спадом производства. В России в 1998 г. находилось в эксплуатации 23,7 млн автомобилей, а в мире — 700 млн. Общая эмиссия оксидов азота в 1998 г. в России составила 4,15 Мт/год. Общие представления об эмиссии оксидов азота в России и некоторых странах Европы дает табл. 14.4.

Серьезную проблему для состояния окружающей среды представляют извлечение и использование азота воздуха для разнообразных промышленных и особенно сельскохозяйственных нужд (удобрения). В результате молекулярный азот воздуха, извлекаемый из атмосферы, преобразуется в активные соединения, кото-

Таблица 14.4

Количество выбросов оксидов азота в атмосферу некоторых государств, тыс. т

Страна	Год		
	1980	1985	1990
Россия	2400	2500	3030
Беларусь	244	220	263
Украина	—	1059	1097
Германия	3640	3700	3190
Великобритания	2365	2392	2779
Испания	950	839	980
Нидерланды	548	544	552
Польша	—	1500	1280
Франция	1823	1614	1750
Финляндия	264	262	290

рые вместе с кислородом и водородом участвуют в денитрификации.

Мировое производство удобрений в конце 80-х годов XX в. поднялось до 140 Мт, из них около 60 % приходится на азотные удобрения. Около 20 % мирового производства азотных удобрений падает на Россию, но в настоящее время производство и потребление удобрений на территории бывшего СССР в связи с экономическим спадом резко сократились.

Трансграничный перенос загрязнений водой. Проблема трансграничного переноса возникла еще в глубокой древности на бытовом уровне, когда поселения, расположенные выше по течению, загрязняли воду или забирали ее для орошения своих полей. В таком случае население, жившее ниже по течению реки, вынуждено было пользоваться загрязненной водой или испытывало недостаток в ней.

Трансграничный перенос загрязнений водой привязан к линейным объектам — рекам или водоемам, имеющим строго очерченные границы, как, например, озера, водохранилища и моря, располагающиеся по границам государств. В настоящее время примеров трансграничного переноса загрязнений великое множество, и каждый раз они становятся предметом международного обсуждения. Это связано с тем, что результаты трансграничного переноса загрязнений через водные объекты всегда отражаются на состоянии обширной территории, так как данные объекты используются в качестве источников питьевого и хозяйственного водоснабжения, рыбной продукции, морепродуктов, а также в качестве зон рекреаций.

На реках, протекающих через несколько государств, возможны и физические изменения, в том числе водного режима. Они могут быть вызваны созданием систем орошения или осушения, строительством плотин и водохранилищ, систем переброски вод, облавыванием берегов. При этом возникает и усиливается тесная связь между загрязнением водных объектов, атмосферы и развитием процессов эвтрофикации. Все атмосферные загрязнители рано или поздно оказываются осажденными на поверхности речных водосборов, а затем талыми и дождевыми водами смываются в озера и реки, а далее поступают в воды Мирового океана.

Некоторые проблемы загрязнения водных систем с успехом решаются на международном уровне. К примеру, протекающая через знаменитую силиконовую долину в США р. Колорадо впадает в Калифорнийский залив уже на территории Мексики, протекая по ней примерно 150 км. В данную реку спускают сравнительно очищенные стоки множество предприятий металлургической, нефтехимической и химической промышленности. Но несмотря на это, в пограничной части воды оказываются в достаточной степени загрязненными. На границе с Мексикой работает мощная система

очистных сооружений, приводящая в соответствующую по договоренности норму речные воды, которые уже очищенными поступают на территорию Мексики.

Особенности положения и континентальные размеры России делают долю межгосударственных речных бассейнов на ее территории относительно небольшой. Такие бассейны занимают всего 1253 тыс. км², или 7,3 % территории страны. На сопредельных территориях эти бассейны занимают почти вдвое большие площади — 2140 тыс. км². Речной сток, поступающий с сопредельных территорий в Россию, в полтора раза больше, чем сток из России на эти территории.

На территории России имеются три основных участка трансграничного переноса загрязнений через водные объекты, формирующие региональную экологическую опасность. Это участок китайско-российской границы на Дальнем Востоке — бассейн р. Амур, в которую в основном поступают загрязнения с территории Китая. Поток загрязняющих веществ достаточно велик и в значительной мере связан с тем, что большая часть водосборной площади Амура находится в Китае, а там практически отсутствуют очистные сооружения.

Второй участок представляет собой район казахстано-российской границы: бассейн р. Обь в южной части Западной Сибири, в которую поступают загрязненные воды из р. Иртыш.

Третий участок — это западная и южная части европейской территории России. Здесь сток направлен преимущественно с территории России в Белоруссию, Казахстан и на Украину. С Казахстаном межгосударственным бассейном служит р. Урал, но сток воды и загрязнений по ней меньше, чем поступают по р. Иртыш из Казахстана. На европейской части России две трансграничные реки — верховье р. Днепр и его левые притоки и р. Северный Донец, которая после пересечения Донбасса на Украине вновь выходит на территорию России в Ростовской области. Эта река, таким образом, транзитом возвращает поступившие на Украину загрязнения из России, но к ним добавляются новые загрязнения, источником которых является донбасская промышленность. Загрязнение Днепра и экспорт поллютантов на Украину происходят в пределах Смоленской области и левых притоков Днепра в Брянской области и частично в пределах Курской и Белгородской областей.

Сток воды и загрязнений в верховьях р. Западная Двина, поступающий в Белоруссию, в основном формируется в Тверской и частично Смоленской областях, в пределах которых плотность населения невелика и слабо развиты промышленность и сельское хозяйство.

Реки стран Балтии и Финляндии текут в основном в направлении территории России. Ввиду того что это истоки крупных рек,

объем импортируемых загрязнений в них превышает экспорт таковых из России.

Взаимный обмен речными водами у нашей страны происходит с 16 государствами. При этом Россия получает воду из 9 государств, а передает свою воду 7 государствам.

Трансграничный перенос морскими течениями связан в Арктике с системой Норвежско-Нордкапских течений, выносящих загрязнения из Северного и Норвежского морей в Баренцево море. В Северное море сбрасывают загрязненные воды многие государства Европы. В последние десятилетия к числу загрязняющих веществ добавились жидкие, радиоактивные отходы, а воды шельфа Северного и Норвежского морей, кроме того, загрязняются работающими буровыми установками, с помощью которых добываются нефть и газ. Поток загрязнений, поступающих трансграничными течениями, отмечается по всей акватории Баренцева моря и прослеживается в Карском море.

Аляскинское течение способствует загрязнению Берингова моря продуктами от нефтепромыслов, расположенных на Аляскинском шельфе. Цусимское течение выносит загрязнения из Желтого и Восточно-Китайского морей, сбрасываемые Китаем, Японией и с Корейского полуострова, в сторону Приморья.

Из арктических морей России вынос поллютантов возможен к берегам Аляски циркулярным течением в Северном Ледовитом океане и трансарктическим течением от берегов Евразии к проливу между Гренландией и Шпицбергенем. Восточно-Сахалинское течение может выносить поллютанты к берегам Японии. В Черном море течение, проходящее с юга на север вдоль российской части берега, приносит загрязнения от берегов Турции и Грузии; к берегам Крыма оно перемещает поллютанты и от российских источников, а также из Азовского моря, основным загрязнителем которого является сама Россия.

Проблемы трансграничного переноса поллютантов водным путем и организация необходимой системы очистки вод должны решаться на двусторонней основе, так как всегда известен конкретный источник и легко определяются пути перемещения поллютантов.

14.5. Твердые и радиоактивные отходы

Твердые отходы. Хозяйственная деятельность человека связана с непрерывным процессом извлечения и перемещения вещества, суммарная масса которого ежегодно составляет около 300 млрд т. Развитие мировой экономики сопровождается неуклонным ростом добычи различных видов минеральных ресурсов, из которых на всех этапах — от добычи и обогащения до переработки — фор-

мируется основная масса твердых отходов. Примерно половина всей массы добытых каменного угля и железной руды превращается в отходы.

Россия, являясь одним из крупнейших поставщиков сырья, главенствует и в поставке соответствующих отходов. Согласно данным ряда авторов, в отвалах на территории России к началу 80-х годов XX в. накоплено более 50 млрд т твердых отходов, а к началу XXI в. их количество возросло до 80 млрд т. Эти отходы занимают около 250 тыс. га земель.

Карьерно-отвальные комплексы, остающиеся в местах добычи полезных ископаемых, являются одним из основных факторов, дестабилизирующих экологическую обстановку. Карьерно-отвальный способ добычи железной руды на Курской магнитной аномалии по сути уничтожил на большой площади плодороднейшие черноземные земли. Крупные карьеры располагаются на Урале, в Восточной Сибири, на Кольском полуострове, в Волго-Вятском районе (разработка горно-химического сырья), Ленинградской области (добыча доломита и бокситов), Белгородской и Липецкой областях (добыча мела и известняка), Московском регионе (добыча угля и строительных материалов). В местах расположения шахт возникли терриконы, шахтные отвалы, сложенные породами, которые при выветривании загрязняют окружающую среду токсичными веществами. Переносимые поверхностными водами загрязнители оказывают негативное воздействие на почвы, речные системы и растительный покров.

В городах России особенно резко выросла масса твердых бытовых отходов. Коммунальные отходы в конце XX в. составили около 270 кг на человека ежегодно. Их анализ показывает, что основная масса приходится на долю органических компонентов, составляющих около 80 %.

К твердым отходам относятся шламы, поступающие с очистных сооружений. На специальных иловых площадках скопилось около 200 млн т отходов. Во многих странах эти осадки используют в качестве удобрений, но в России такой вид утилизации невозможен из-за высокой концентрации в них тяжелых металлов и других загрязнителей. Главная причина заключается в том, что во многих городах происходит смешивание промышленных стоков и коммунальной канализации.

Наиболее распространенный способ переработки несортированных твердых бытовых отходов — их сжигание при высоких температурах на специальных мусоросжигательных заводах. В последние годы многие страны стали отказываться от этого способа утилизации, так как было установлено, что в процессе сжигания образуются высокотоксичные вещества — диоксины и ядовитые газы.

Оптимальное решение утилизации твердых бытовых отходов в России с учетом зарубежного опыта — это максимально возмож-

ная комплексная их переработка. Она заключается в совместной работе мусороперерабатывающих и мусоросжигательных заводов с использованием новейших технологий.

Опасные отходы. В начале 70-х годов XX в. задача «химизации сельского хозяйства» решалась в первую очередь в интересах химической и нефтехимической промышленности и военно-промышленного комплекса. Однако химизация мало помогла сельскому хозяйству. Страна непрерывно расширяла закупки хлеба за рубежом, а построенные химические комбинаты наносили огромный ущерб здоровью людей и окружающей среде. Огромное количество отходов с химических предприятий, необходимость уничтожения химического оружия с просроченными сроками хранения и утилизация опасных загрязнителей привели к загрязнению среды.

Сегодня крупнейшим в мире производителем опасных отходов являются США. В этой стране в начале 80-х годов ежегодно производилось 270 млн т таких отходов. Следом за США идет Россия, в которой масса опасных отходов в 1998 г. составляла 107 млн т, на третьем месте находится Индия, создающая около 40 млн т опасных отходов.

Среди опасных веществ, наличие которых даже в самых ничтожных концентрациях создает угрозу жизни человека и живых организмов, первое место занимают диоксины. Попадая в организм человека, вещества этого класса медленно разлагаются и практически не выводятся из него, оказывая негативное воздействие на все органы человека. Вторыми по степени негативного воздействия являются пестициды, затем тяжелые металлы, ядерные и иные твердые токсичные отходы.

Особую группу токсичных веществ составляют углеводороды. Они не только взрываются в смеси с воздухом, но и обладают наркотическим действием, а также являются сильными канцерогенами.

При замене водорода хлором образуются хлорированные углеводороды, которые широко используются в промышленности (растворители, изоляторы), быту и сельском хозяйстве (пестициды). Многие из этих веществ обладают канцерогенными и мутагенными свойствами, нарушая эндокринную систему человека. Все они, обладая сильно выраженными свойствами токсиканта и имея высокую степень устойчивости к разложению, получили широкое распространение в окружающей среде, проникли в организмы животных и человека, стали накапливаться в жировых тканях. Несмотря на запрещение и ограничение в использовании ряда опасных органических соединений, сокращение их общего количества в окружающей среде пока не наблюдается.

Огромной проблемой как для Европы, так и для России являются захоронения промышленных отходов, которые нередко содержат опасные для здоровья человека вещества. Во многих странах проводят инвентаризацию старых свалок и соответствующие

очистные работы. В России такой практики не существует, и обычно старые захоронения и свалки обнаруживают, когда застраивают новые районы.

Существует группа веществ, именуемых супертоксикантами: ДДТ, бифинилы, диоксины, фураны, свинец, кадмий, ртуть, бериллий, мышьяк. Все они нарушают работу эндокринной системы, приводят к росту бесплодия, вызывают некоторые формы раковых заболеваний. Их отличительная черта — чрезвычайно высокая устойчивость к химическому и биологическому разложению. Эти вещества сохраняются десятки лет и все время встраиваются в трофические связи. Попадая в малых количествах в организм, они имеют способность накапливаться до угрожающих для жизни размеров.

Источниками свинца являются горно-добывающие и горно-обогатительные предприятия. Большая часть эмиссии свинца в России приходится на автотранспорт, использующий этилированный бензин, а также на отходы, содержащие свинец аккумуляторных батарей, которые пока плохо утилизируются.

Анализ керн льдов Гренландии показал, что концентрация свинца в воздухе увеличилась за вторую половину XX в. в 400 раз по сравнению с XIX в. Высокий процент содержания свинца обнаружен в костях современных людей: в 1000 раз больше, чем в костях людей, живших 1500 лет назад.

Источниками поступления кадмия в окружающую среду служат производство цветных металлов, сжигание твердых отходов, угля, производство минеральных удобрений и в особенности фосфорных удобрений (переработка апатитов и фосфоритов). Природная глобальная эмиссия кадмия составляет около 300 т/год, тогда как антропогенная — около 9000 т/год. Крупнейшими производителями кадмия до сих пор остаются США и Россия. Предприятия по выплавке свинца, цинка и кадмия находятся в городах Дальнегорске (Приморский край), Белово (Кемеровская область), Владикавказе (Северная Осетия), пос. Кличка (Читинская область). Самым загрязненным городом мира по содержанию в атмосфере свинца и кадмия является г. Белово.

Хотя крупные производства ртути в России отсутствуют, так как ртуть раньше выплавлялась на Украине и в Киргизии, наша страна является одним из главных потребителей этого металла, который используется в электротехнической промышленности и приборостроении, в хлорных производствах, медицинской практике, сельском хозяйстве. Однако до сих пор в России не налажена утилизация приборов и не разработаны технологии переработки отходов, содержащих ртуть.

Одними из самых ядовитых веществ, широко применяемых в промышленном производстве и сельском хозяйстве, являются пестициды. К регионам, наиболее загрязненным пестицидами, относятся Северный Кавказ, Приморский край и области Централь-

но-Черноземного региона. Помимо негативного воздействия на здоровье человека перманентное использование пестицидов ведет к уничтожению некоторых видов растений и развитию у ряда растений иммунитета к другим ядохимикатам.

Радиационная угроза. О действительных масштабах прямого воздействия радиации на здоровье и жизнь людей человечество узнало после атомных бомбардировок японских городов Хиросима и Нагасаки. В послевоенные годы стали проводиться широкомасштабные испытания ядерного оружия в воздухе и водной среде. Географический диапазон испытаний ядерного оружия достаточно широк: штат Невада и Маршалловы острова (США), Австралия и острова Иомден и Рождества (Великобритания), Алжир и атолл Морроруа (Франция), Синцзян (Китай), Индостан (Индия и Пакистан), Северный Прикаспий, Восточный Казахстан и Новая Земля (СССР). В 1963 г. испытания в атмосфере и водной среде были запрещены и, за исключением Франции и Китая, стали проводиться только в подземной среде. Однако к тому периоду во всех средах оказались значительные массы радиоактивных веществ.

В настоящее время в мире создана мощная индустрия производства энергетических ядерных реакторов, которые устанавливаются на атомных электростанциях, гражданских и военных судах, преимущественно на подводных лодках, и даже на космических аппаратах. Долгое время после запрета 1963 г. продолжались подземные ядерные испытания. Казалось, что это послужит некоторой гарантией чистоты воздушной среды. Однако иногда происходят аварии и на ядерных объектах. Так, взрыв на Чернобыльской АЭС привел к загрязнению воздушной среды. Это было связано с тем, что реактор содержал столько же расщепляющегося вещества, сколько 1000 бомб, подобных бомбе, сброшенной на Хиросиму, и поэтому горение и выброс огромного количества расщепляющегося вещества вызвали радиоактивное заражение на гораздо большей территории, чем в Японии.

Первый взрыв атомной бомбы в районе г. Семипалатинска в Казахстане 9 августа 1949 г. означал, что Советский Союз наладил производство обогащенного урана, плутония и других расщепляющихся веществ. Быстрый рост отечественного ядерного комплекса привел к тому, что уже в 1970 г. был ликвидирован разрыв в данной области с США. К этому сроку были построены крупнейшие военные и ледокольные суда с атомными реакторами и началось развитие гражданской ядерной энергетики. В начале 80-х годов XX в. в Советском Союзе был создан огромный интегрированный и централизованный ядерный промышленный комплекс, состоящий из 150 исследовательских институтов и промышленных производств. Производство высокообогащенного урана развивалось в нескольких закрытых городах. Однако в последующие годы в свя-

зи с сокращением ядерного вооружения возникла проблема хранения и переработки высокообогащенного урана и плутония. Безопасное хранение высвобождающегося высокообогащенного урана особенно актуально в отношении металлического плутония, так как он исключительно опасен для здоровья людей и окружающей среды.

Атомная энергетика до катастроф на АЭС в Тримайл Айленде (США) и Чернобыле (СССР) считалась самой безопасной и перспективной. Из всех существующих в мире ассигнований на энергетические разработки около 80 % шло на научные разработки в области атомной энергетике. К началу 80-х годов XX в. суммарная мощность АЭС достигала 367,4 ГВт. Однако с Чернобыльской катастрофы в 1986 г. начался спад атомной энергетике. Уже в начале 90-х годов число выводимых из строя реакторов превысило число вводимых. Швеция, Италия и Австрия пересмотрели свою политику в отношении строительства АЭС, однако такие страны, как Франция, Бельгия, Швейцария, Япония, по-прежнему основывают свою энергетику на базе ядерных реакторов, а некоторые развивающиеся государства даже наращивают строительство атомных электростанций. К концу XX в. в мире насчитывалось 432 АЭС и более половины мощности ядерных установок находилось в Европе. Из азиатских АЭС 2/3 находятся в Японии. В 1998 г. Япония начала строительство еще 20 АЭС. Но после того как в Японии произошел ряд аварий на АЭС в 1999 и 2000 гг., причем с утечками радиации, радиоактивным поражением персонала и эвакуацией жителей, встал вопрос о корректировке программы строительства АЭС. В 2030 г. большинство европейских АЭС закроется.

В настоящее время в России работает девять АЭС с 29 энергоблоками, из которых 11 реакторов того же типа, что и на Чернобыльской АЭС. Основная часть АЭС расположена на европейской части России. В Сибири находится две АЭС, из которых Билибинская АЭС обеспечивает 60 % электроэнергии Чукотский автономный округ.

Кроме гражданских АЭС функционирует большое количество энергетических реакторов военного назначения на подводных лодках и боевых кораблях, а также на ледокольном флоте. Количество ядерных установок в военном флоте на порядок превышает число энергоблоков гражданских АЭС.

Основная проблема атомного военного и гражданского энергетического комплекса — утилизация радиоактивных отходов и отработанного ядерного топлива. Ядерные отходы присутствуют на всех стадиях производства, начиная от добычи и обогащения руды, извлечения расщепляющихся материалов и заканчивая получением конечной продукции, в том числе ядерных боеголовок и топливных элементов. Расходы на безопасное хранение, транспортировку ядерных отходов и переработку топливных элементов ог-

ромны. Затраты на обращение с отходами довольно часто не включаются в стоимость конечного продукта, поэтому утверждение о дешевизне атомной энергии — устойчивый миф.

Часть радиоактивных отходов находится в специально созданных хранилищах, но не учтено значительное количество отходов, захороненных в Мировом океане. В водах Мирового океана США и страны Западной Европы затопили около 190 тыс. контейнеров общей массой 100 тыс. т. Даже в настоящее время продолжается сброс низкоактивных жидких отходов в воды морей и океанов. Советский Союз начал затопление ядерных отходов в 1959 г. в Карском и Баренцевом морях. Помимо захороненных контейнеров в Мировом океане затонуло несколько атомных подводных лодок и около 50 ядерных боеприпасов разных стран.

Массированное локальное, региональное и глобальное радиационное загрязнение в России началось с испытания ядерного оружия. В период наиболее интенсивных испытаний в 1962 г. плотность среднемесячных радиоактивных выпадений в Амдерме, Диксоне и Нарьян-Маре превышала допустимый уровень от 2 до 10 раз. Испытания на Новой Земле проводились на поверхности, в атмосфере и под землей, поэтому столь высока степень радиоактивного заражения. С 1964 г. на Новой Земле проводились только подземные испытания. Во время таких испытаний не происходит выпадения радиоактивных осадков, но возможна утечка инертных радиоактивных газов, которые, однако, на большие расстояния не распространяются и обладают очень коротким сроком распада.

Всего на территории России было осуществлено 84 подземных ядерных взрыва. Задачи таких взрывов — создание подземных полостей в целях сброса туда загрязнений или хранения в них углеводородов, интенсификация добычи нефти, создание провальных воронок и плотин, гашение горящих скважин, глубинное зондирование недр и т. д. В настоящее время проводятся исследования и выявляются последствия подземных ядерных взрывов как с точки зрения радиационной обстановки в настоящем и будущем, так и с точки зрения воздействия этих взрывов на недра вследствие обширности территорий, подвергнутых ядерным взрывам, охватывающим практически всю территорию России.

Все ядерные испытания, произведенные для решения как военных, так и гражданских задач, нанесли значительный локальный, а местами и региональный экологический ущерб.

Длительный период перехода от экстенсивного пути развития к интенсивному отрицательно отразился на состоянии природной среды России. Примерами развития негативных процессов являются Волжский бассейн, целинные земли, Аральский регион. В России крайне низка эффективность использования экологического пространства.

Выбросы парниковых газов и озоноразрушающих продуктов до сих пор велики. В результате глобального потепления в России произошли значительные изменения погодных условий и природных ландшафтов. Над определенными районами на территории России наблюдается уменьшение озонового слоя. К основным загрязнителям воздуха относятся аэрозоли, диоксиды серы и оксиды азота. Особенно большой проблемой является трансграничный перенос загрязненного воздуха и вод. Территория России сильно загрязнена твердыми и радиоактивными отходами.

Контрольные вопросы

1. Какие экологические нарушения были в Советском Союзе?
2. Какие грандиозные стройки имели негативные последствия?
3. Каким образом осуществляется биотическая регуляция в России?
4. На чем основана «броня цивилизации»?
5. Каков объем выбросов парниковых газов и каковы его последствия для России?
6. Каково состояние озонового экрана над территорией России?
7. Какие изменения погодных условий произошли в России?
8. Какие аэрозоли выступают в качестве загрязнителей?
9. Каковы негативные последствия выбросов диоксидов серы и оксидов азота?
10. Каково состояние радиационной безопасности России?

Литература

- Лосев К. С.* Экологические проблемы и перспективы устойчивого развития России в XXI веке. — М., 2001.
- Лосев К. С., Ананичева М. Д.* Экологические проблемы России и сопредельных территорий. — М., 2000.
- Проблемы экологии России // К. С. Лосев, В. Г. Горшков, К. Я. Кондратьев и др. — М., 1993.
- Прохоров Б. Б.* Состояние здоровья населения за 100 лет // Россия в окружающем мире. — М., 2000.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Глава 1. Современное состояние экологической науки	9
Глава 2. Экологическая проблема в науках о Земле	16
Глава 3. Содержание и объекты геоэкологии и экологической геологии	25
3.1. Происхождение терминов «геоэкология» и «экологическая геология»	25
3.2. Понятийная и терминологическая база геоэкологии и экологической геологии	30
3.3. Объекты и предмет исследований геоэкологии и экологической геологии	35
Глава 4. Геологическая роль и экологические функции геосфер	38
4.1. Экологические функции геосфер	39
4.2. Влияние социально-экономических факторов на экологические функции геосфер	45
Глава 5. Современные концепции взаимоотношения человека, общества и природы	54
Глава 6. Геологическая роль и экологические функции атмосферы	67
6.1. Главные особенности атмосферы	67
6.2. Возникновение и эволюция атмосферы	71
6.3. Роль атмосферы в природных процессах	74
6.4. Эколого-геологическая роль атмосферных процессов	77
6.5. Антропогенные изменения атмосферы	80
6.6. Парниковый эффект и нарушение озонового слоя	86
6.7. Ацидификация атмосферы и гидросферы	96
6.8. Природные и социально-экономические последствия изменения глобального климата	99
6.9. Глобальные и локальные проблемы загрязнения воздушной среды	102
6.10. Этносферные функции атмосферы	106
Глава 7. Геологическая роль и экологические функции гидросферы	109
7.1. Общие сведения о гидросфере Земли	109
7.2. Основные особенности Мирового океана	111
7.3. Экологические функции Мирового океана	119
7.4. Геологические воздействия и экологические последствия природных процессов в Мировом океане	121
7.5. Глобальные и региональные экологические последствия в Мировом океане в результате антропогенной деятельности ...	126
7.6. Общая характеристика гидросферы суши	130
7.7. Геологическая роль и неблагоприятные экологические процессы, обусловленные гидросферой суши	140
7.8. Экологические последствия антропогенного воздействия на гидросферу суши	148
7.9. Особенности загрязнения и изменения качества вод гидросферы суши	152
7.10. Процессы ацидификации и эвтрофикации	157
7.11. Дефицит воды и управление водными ресурсами	159

Глава 8. Экологические функции геологической среды	163
8.1. Строение Земли	163
8.2. Понятие о геологической среде	168
8.3. Экологические функции литосферы	169
8.4. Ресурсные функции литосферы	175
8.5. Неблагоприятные геодинамические процессы	178
8.6. Особенности геофизических и геохимических аномалий	194
8.7. Последствия антропогенного воздействия на геологическую среду	202
Глава 9. Биосфера и экологические функции живого вещества	222
9.1. Основные особенности биосферы. Ее строение и развитие	222
9.2. Экологические функции живого вещества	223
9.3. Биологическое разнообразие и биоиндикация	234
9.4. Круговороты веществ в биосфере	238
Глава 10. Космопланетарные воздействия на геосферы	253
10.1. Космическая радиация	253
10.2. Космогеологические процессы	254
Глава 11. Социально-экологические факторы развития и их воздействие на геосферы	262
11.1. Численность населения как геоэкологический фактор	262
11.2. География населения и природные ресурсы	270
11.3. Неустойчивая биосфера и устойчивое развитие	274
11.4. Доктрина устойчивого развития России	279
Глава 12. Геоэкологические аспекты природно-антропогенных систем	284
12.1. Геоэкологические особенности урбанизации	284
12.2. Управление водными ресурсами	288
12.3. Управление геологической средой	290
12.4. Геоэкологические последствия сельскохозяйственного производства	293
12.5. Геоэкологические особенности энергетики	295
12.6. Геоэкологические последствия работы промышленности и транспорта	300
Глава 13. Методы и принципы геоэкологических исследований	305
13.1. Возникновение и развитие геоэкологических исследований ...	305
13.2. Методы геоэкологических исследований	307
13.3. Геоэкологическое картирование	313
13.4. Основные принципы среднemasштабного геоэкологического исследования и картирования	316
Глава 14. Экологические проблемы России	327
14.1. Экологические нарушения на территории России	327
14.2. Выбросы парниковых газов и озоновый экран в России	331
14.3. Особенности глобального потепления на территории России и состояние озонового щита	334
14.4. Основные загрязнители атмосферного воздуха в России	337
14.5. Твердые и радиоактивные отходы	343