

502/504  
К 684

высшее профессиональное образование

Учебное пособие

Н. В. Короновский  
Г. В. Брянцева  
Н. А. Ясаманов

# ГЕОЭКОЛОГИЯ



БАКАЛАВРИАТ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

ACADEMA

**Высшее профессиональное образование**  
**БАКАЛАВРИАТ**

Н. В. КОРОНОВСКИЙ, Г. В. БРЯНЦЕВА,  
Н. А. ЯСАМАНОВ

# ГЕОЭКОЛОГИЯ

*Допущено*

*Учебно-методическим объединением  
по классическому университетскому образованию  
Российской Федерации в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению  
«Экология и природопользование»*



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2011



УДК 574.91:574.55(075.8)  
ББК 260я73  
К684

Рецензенты:

д-р геол.-мин. наук, проф. А. Г. Рябухин  
(Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова);  
д-р геол.-мин. наук, проф. Д. В. Гричук  
(Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова)

**Короновский Н.В.**

К684 Геоэкология : учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф.образования / Н. В. Короновский, Г. В. Брянцева, Н. А. Ясаманов. — М.: Издательский центр «Академия», 2011. — 384 с. — (Сер. Бакалавриат).  
ISBN 978-5-7695-7953-0

Учебное пособие создано в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки «Экология и природопользование» (квалификация «бакалавр»).

В книге изложены основы геоэкологических знаний; приведены методы геоэкологических исследований, изучающих взаимосвязанные и взаимозависимые геосферы в интеграции 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 учреждений высшего профессионального образования.

УДК 574.91:574.55(075.8)  
ББК 260я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается*

© Короновский Н.В., Брянцева Г. В., Ясаманова А. Н.,  
наследница Ясаманова Н. А., 2011  
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2011  
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2011

ISBN 978-5-7695-7953-0

Вторая половина XX—начало XXI в. проходит под знаком небывалого давления на природную среду со стороны стремительно увеличивающейся численности населения. Нормальное, устойчивое функционирование природных и природно-антропогенных систем во многих случаях сильно нарушено в результате резкого расширения использования природных ресурсов, производства электроэнергии, добычи нефти, газа, угля и других полезных ископаемых, столь необходимых для удовлетворения насущных потребностей населения Земли. Если раньше все эти процессы происходили в ограниченных районах, то теперь они обладают поистине глобальным масштабом, затрагивая не только сушу, но и акватории всех океанов и морей, изменяя природные ландшафты и вовлекая как ближнее, так и дальнее космическое пространство. Антропогенный процесс все сильнее давит на привычные нам ландшафты, часто полностью изменяя их за счет непрерывно расширяющегося строительства городов, транспортных систем, нового стиля ведения сельского хозяйства и других многочисленных факторов.

В ближайшем космосе вокруг Земли вращается огромное количество «мусора», уже представляющего реальную опасность для спутников и орбитальных станций. Во много раз увеличились межгосударственные хозяйственные связи, в результате которых увеличились обменные процессы в глобальном масштабе.

Все перечисленное выше нарушает сложившееся равновесие и динамику природных систем и приводит к необратимым изменениям. Наука «геоэкология» как раз и занимается изучением взаимодействия человеческой деятельности, биосферных, геологических и других природных процессов, нормальное саморегулирование которых в настоящее время нарушено. Системы атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы при взаимодействии с человеческой цивилизацией во многом потеряли свою устойчивость, они уже не способны к спонтанному упорядочиванию, т.е. к самоорганизации, и подвержены неожиданным изменениям, вызываемым, на первый взгляд, незначительными флуктуациями темпа и направления течения процессов. Экологические катастрофы разного масштаба становятся возможными, когда перестают работать естественные механизмы саморегулирования биосферы, гидросферы и т.д.

Поэтому наука «геоэкология» по своей сути является междисциплинарной, призванной к объединенному рассмотрению взаимодей-



ствия различных систем — природных и антропогенных — на разных иерархических уровнях: от локального до глобального. Поскольку данными проблемами в той или иной степени занимаются практически все естественные и гуманитарные науки, «геоэкология» охватывает большой круг вопросов, в которые все в большей степени входит синергетика как наука, изучающая закономерности функционирования отдельных частей различных систем, анализируя их количественные параметры и создавая общие математические модели, независимо от природы этих систем, будь они связаны с биосферой, литосферой, атмосферой или гидросферой при сильном антропогенном влиянии на них.

Учебное 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 применяли огонь, 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 обострялись. 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 приспособиться.

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 планеты Земля — это бесконечная смена физико-географических условий, различных по масштабам и времени проявления катастроф, череда 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 геоэкологическое 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 гармоническая 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 благоприятные обстановки для развития снежных лавин, обвалов и осыпей и т.д.

Большой вред окружающей среде наносили непреднамеренные хозяйственные действия людей. Еще около 5 тыс. 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 озер и в широких поймах полноводных рек. В процессе археологических раскопок были найдены рыболовные крючки и снасти, большое количество рыбных 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 лишённые 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 выпасывал 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 зловых процессов, спровоцированных антропогенной деятельностью, вызвала погребение песками многих городов, поселений и оазисов Средней и Передней Азии.

В Средневековье 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 (конец XVII—начало XVIII в.) воздействие человеческой деятельности на среду его обитания становится всеобщим. С этого времени начинается разработка экологической проблематики учеными различных направлений, возникает экологическая наука, в практику антропогенной 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

---

В настоящее время общее количество публикаций на экологическую тематику составляет десятки тысяч и продолжает увеличиваться. Особенно интенсивно данной проблемой занимаются циклы наук биологической, почвоведческой, географической и геологической направленности.

Впервые термин «экология» был употреблен в 1866 г. в работе немецкого биолога Э. Геккеля «Всеобщая морфология организмов». Название экологической науки произошло от двух греческих слов: «экос» — дом, жилище, местообитание и «логос» — слово, учение. Самобытный биолог-эволюционист, медик, ботаник, зоолого-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» (1869), 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». К неорганическим условиям Геккель относил физические и химические особенности мест обитания живых организмов: климат (теплота, 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.

Надо отметить, что Э. Геккель, как и многие его последователи, использовал 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.

До середины XX в. экологию рассматривали как составную часть биологии. Экология в биологическом содержании этого термина подразумевает науку об отношениях растительных и животных организмов и образуемых ими сообществ между собой и с окружающей средой. Акцент в ней был сделан на изучение живого вещества, закономерностей его функционирования в зависимости от факторов среды обитания. Экологией как составной частью биологической науки был сделан огромный вклад в общее развитие науки и озвучен фундаментальный вывод о наличии противоречия между природной системой и человеком. Первая стремится к увеличению и поддержанию на определенном уровне таксономического разнообразия видов, а деятельность человека приводит к нарушению многообразия природы. Стало очевидным, что это противоречие не может быть разрешено в рамках экологии как биологической науки.

К настоящему времени экологическое направление охватило практически все существующие области научного познания. Экология является комплексной наукой, или системой наук, которая рассматривает как общие законы, так и закономерности функционирования экосистем различного иерархического уровня, а также положение человека в этих 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. Экология, или общая экология, подразделяется на четыре крупнейших и одновременно фундаментальных направления: биоэкологию, экологию человека, геоэкологию и прикладную экологию (рис. 1.1). Все перечисленные направления пользуются практически одинаковыми методами и методологическими основами единой экологической науки.

Объектом исследования *биоэкологии* являются уровни организации жизни от видов до биоценозов и экосистем.

Самостоятельным направлением экологического исследования является *экология человека*, в рамках которого выделяются *эволюционная экология человека*, *археоэкология*, *социальная экология*, *медицинская экология* и др.

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





**Рис. 1.1. Структура современной экологии**

исследования были объединены в рамках науки *геоэкологии*. Впервые термин *геоэкология* был введен немецким экологом К. Троллем (1939). Под этим термином ученый подразумевал раздел экологии, посвященный ландшафтам Земли, поэтому данный термин был первоначально географическим. В настоящее время геоэкология рассматривается как междисциплинарное направление наук о Земле, объединяющее все знания об экологических проблемах экосфер. Необходимо подчеркнуть, что не все ученые согласны с таким разделением.

В рамках *прикладной экологии*, как следует из ее названия, рассматриваются вопросы экологии, связанные с сугубо практическими задачами.

В ее составе выделяют *промысловую экологию*, *сельскохозяйственную экологию* и *инженерную экологию*.

При всей полноте и глубине охвата в классификационной рубрикации экологических исследований, включающей все современные 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. Историческая экология 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 и геолого-географическое. 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, т. е. наукой междисциплинарного направления.*

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Кто и когда ввел в науку термин «экология»?
2. На какие основные части разделяется современная экология?
3. Кто и когда ввел в науку термин «геоэкология»?

## **ЛИТЕРАТУРА**

*Голубев Г.Н.* Геоэкология. — М., 2006.

*Горишков С. П.* Концептуальные основы геоэкологии. — Смоленск, 1998.

*Клубов С. В.* Геоэкология: история, понятия, современное состояние /

С. В. Клубов, Л.Л. Прозоров. — М., 1993.

Основы геоэкологии / [Г. Н. Белозерский и др.]. — СПб., 1994.

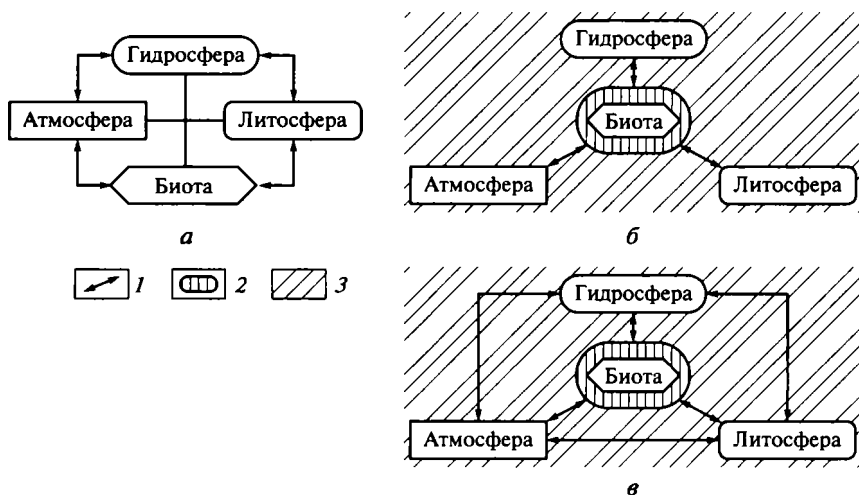
*Петров К. М.* Геоэкология. — СПб., 1994.

*Реймерс Н.Ф.* Природопользование. — М., 1990.

Теория и методология экологической геологии ; под ред. В. Т. Трофимова. — М., 1997.

### 2.1. Объект и предмет геоэкологии

Комплекс наук, изучающих состояние окружающей среды, т.е. состояние географической оболочки и в определенной мере геологической среды, исследователи выделили из общей экологии в качестве новой науки, которую стали именовать *геоэкологией*. 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 —



**Рис. 2.1.** Принципиальные схемы географического (а), экологического (б) и геоэкологического (в) подходов к изучению природных система (по В.Т.Трофимову и др., 1997, с изм.):

/ — связи между компонентами; 2 — главный компонент в системе; 3 — окружающая среда

геоэкологические системы. Географический, экологический и геоэкологический подходы при изучении природных систем показаны на рис. 2.1. Таким образом, 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). Экологическая геология, экологическая география, как и экологическое почвоведение, выступают составными частями геоэкологии.

С. В. Клубов и Л. Л. Прозоров справедливо отмечают (1993), что «геологи, обладая соответствующим арсеналом технических средств и технологий, 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.

Объектом изучения геоэкологии является экологическое состояние геологической среды и географической оболочки, включающей атмосферу, поверхностные воды суши, Мировой океан, почву. Предмет ее исследований связан с определением экологических функций отдельных геосфер, а именно атмосферы, гидросферы и педосферы, т.е. совокупность всех знаний о геосферах, включая изменения, происходящие под влиянием природных и техногенных факторов.

Весьма важными являются конечные выводы геоэкологических исследований, которые приводят к рациональному и щадящему 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.

Важнейшей задачей геоэкологии, по мнению В. И. Осипова (1993), является 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.

## 2.2. Понятийная и терминологическая база геоэкологии

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 немыслимо. 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* (рис. 2.2). 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 воздействующие на жизнь и благосостояние людей. Факторы окружающей среды подразделяют на естественные (природные) и искусственные (антропогенные или техногенные).

Важнейшей составной частью окружающей среды является природная среда, объединяющая *геосферы Земли*. Под ними понимаются более или менее концентрические слои, охватывающие всю Землю и обладающие присущими только им характерными физическими, структурными, физико-химическими, химическими и биологическими свойствами. Геосферы подразделяют 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 земная кора (литосфера). К внутренним геосферам относят мантию 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 стратосферной 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 древние, или былые, биосферы, следы которых сохранились в виде окаменелостей животного и растительного мира, а также продуктов их жизнедеятельности. С термином «биосфера» тесно смыкается термин «*экосфера*», которым Ю.Одум (1971) определял сферу деятельности живых орга-

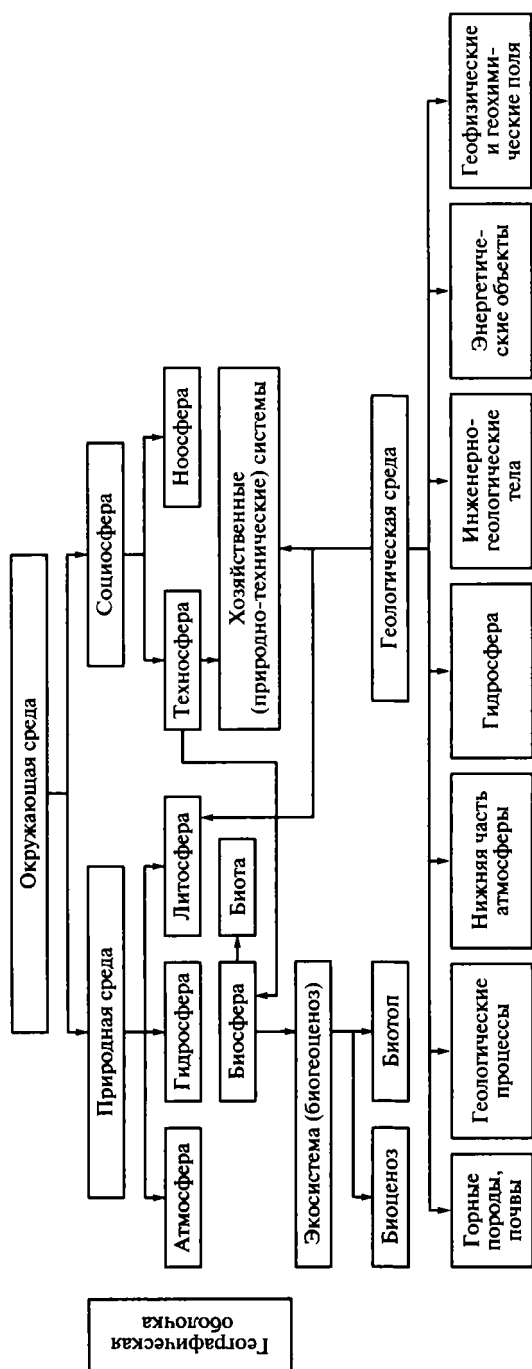


Рис. 2.2. Соотношение понятий геоэкологического содержания (по М. К. Бахтеву, 1997, с изм.)

низмов 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. Термин «экосистема» был введен в экологию английским геоботаником А.Тенсли (1935). *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. Экосистема является главным объектом изучения общей экологии. 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.

Важнейшим понятием в экосистеме считается *биогеоценоз* (от греч. *биос* — жизнь, *гея* — Земля, *койкос* — обитание) — единый взаимообусловленный природный комплекс, представляющий собой совокупность растений, животных и микроорганизмов с соответствующим участком земной поверхности, объединенных общим веществом и энергией. Следовательно, биогеоценоз — это совокупность биотических и абиотических факторов, т.е. биоценоза и биотопа. Совокупность биогеоценозов составляет биосферу.

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, *топос* — место). Это участок земной поверхности, характеризующийся однородностью геологического строения, микроклимата, водного режима, рельефа и почвенного покрова, занятый определенным биотическим сообществом. В общем виде биотоп — неорганический компонент биогеоценоза.

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.

По сути понятия «экосистема» и «биогеоценоз» являются синонимами. Термином «экосистема» широко пользуются американские ученые, а «биогеоценоз» — европейские, в том числе и российские, исследователи.

Таким образом, литосфера, гидросфера, атмосфера и биосфера с входящими в них биогеоценозами составляют природную среду, или природные оболочки 1.





*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 изменяет среду обитания, а также от того, как он ограничен сферами влияния других видов.

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.

Таким образом, 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.

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 француз-

ским математиком и философом Э.Леруа (1927) и использовалось французским биологом П.Тейяром де Шарденом начиная с 1930 г. Особенно широко применял этот термин В. И. Вернадский, который впервые 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.

*Геоэкология должна рассматриваться как междисциплинарная наука, ассимилирующая всю информацию об экосистемах Земли высокого уровня организации, включая человеческую популяцию, техносферу и ноосферу. Понятийная и терминологическая база геоэкологии основывается на общеэкологических терминах. Такими, в частности, являются биогеоценоз, экосистема, биоценоз, фитоценоз, экологическая ниша, биосфера и экосфера. Однако кроме них геоэкология пользуется собственными терминами — географическая оболочка, геологическая среда, которые являются терминами высших систем в геоэкологической иерархии.*

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что изучает геоэкология?
2. На какие направления подразделяется геоэкология?
3. На чем основывается понятийная база геоэкологии?
4. Что означает термин «окружающая среда»?
5. Что означает понятие «экологическая ниша»?
6. Чем отличается биогеоценоз от экосистемы?
7. Что такое ноосфера?
8. Что является объектом исследования геоэкологии?

## **ЛИТЕРАТУРА**

*Бахтеев М. К. Геоэкология. — Дубна, 1997.*

*Теория и методология экологической геологии / под ред. В. Т. Трофимова. - М., 1997.*

*Экологические функции литосферы / под ред. В.Т.Трофимова. — М., 2000.*

# ВЛИЯНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГЕОСФЕРЫ

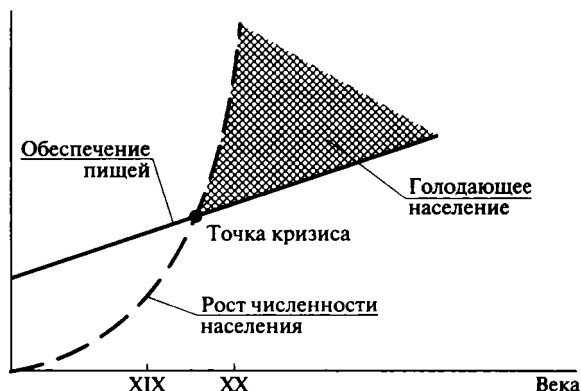
---

### 3.1. Численность населения как геоэкологический фактор

Наряду с природными факторами, обуславливающими функционирование геосфер, огромное влияние на их развитие оказывают 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. Численность населения предопределяет также суммарные потребности общества в питании, одежде, жилище. 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.

Чем выше темп роста численности населения, тем сильнее нагрузка на поверхностные оболочки, тем интенсивнее потребление природных ресурсов Земли, что ведет к их быстрому истощению. 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» (1798) сформулировал два основных положения:

- рост средств существования значительно отстает от роста численности населения;
- в силу биологических особенностей население Земли увеличивается в геометрической прогрессии, в то время как средства существования увеличиваются лишь в арифметической (рис. 3.1).



**Рис. 3.1.** Увеличение численности населения Земли и средств существования

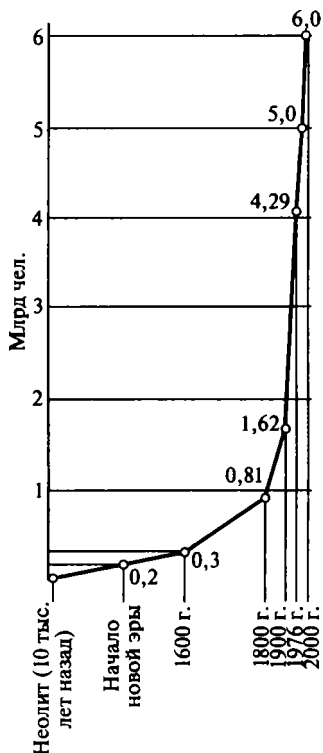
Эти два положения, равно как и сам подход Т. Р. Мальтуса к проблеме народонаселения, подверглись в XX в. ожесточенной критике сторонниками марксистско-ленинской идеологии.

Учение Мальтуса опиралось 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.

Необходимо отметить, что, несмотря на ожесточенную критику и длительную дискуссию, в целом основные положения Мальтуса оказались верными.

В начале голоценовой эпохи, т. е. около 10 тыс. лет назад, общая численность населения Земли составляла 5—10 млн чел. (рис. 3.2). С этого момента начался рост численности населения. Вначале это был довольно медленный процесс, но с течением времени он ускорился (табл. 3.1).



**Рис. 3.2.** Рост народонаселения Земли

Таблица 3.1. Рост численности населения Земли (по Ф. Бааде)

Период до нашей эры, лет	Рост численности, млн чел.	Время удвоения численности, лет	Период до нашей эры, лет	Рост численности, млн чел.	Время удвоения численности, лет
7 000 — 4 500	10 — 20	2 500	0 — 900	160 — 320	900
4 500 — 2 500	20 — 40	2 000	900 — 1 700	320 — 600	800
2 500 — 1 000	40 — 80	1 500	1 700 — 1 850	600 — 1 200	150
1 000 — 0	80 — 160	1 000	1 850 — 1 950	1 200 — 2 500	100
			1 950 — 1 988	2 500 — 5 000	38

Количество людей на Земле в течение последних 2 тыс. лет изменялось следующим образом:

Год	Численность населения, млрд чел.	Год	Численность населения, млрд чел.
0	0,25	1960.....	3,0
1000 .....	0,28	1974 .....	4,0
1800.....	1,0	1987.....	5,0
1925.....	2,0	2000.....	6,0

Стремительный рост численности населения происходил во второй половине XX в. В течение одного этого века оно возросло в 3,5 раза, а только за его 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  $10 \pm 2$  млрд чел. (рис. 3.3).

Почему должна произойти стабилизация численности населения? Согласно мнению крупнейшего демографа Ф. Ноутштайна (США), экономический и социальный прогресс влияет на рост численности 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. Эту стадию развития прошли практически все страны. К странам второй категории относятся те, в которых вследствие улучшения условий жизни и особенно вследствие повышения качества медицинского обслуживания смертность сокращается, а рождаемость остается высокой. Поэтому в этих стра-

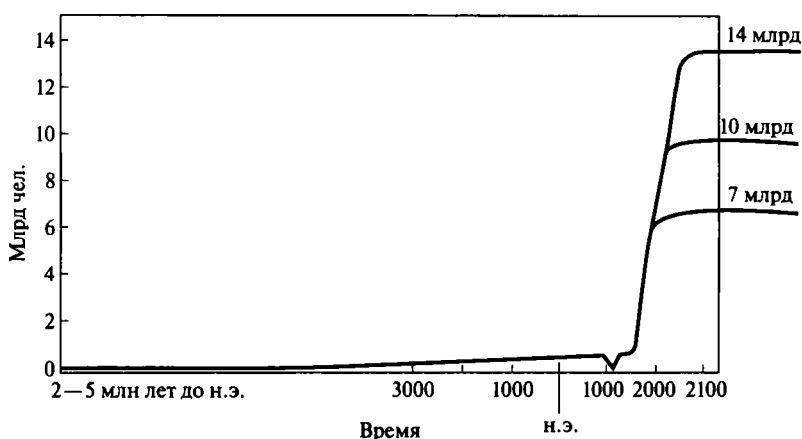
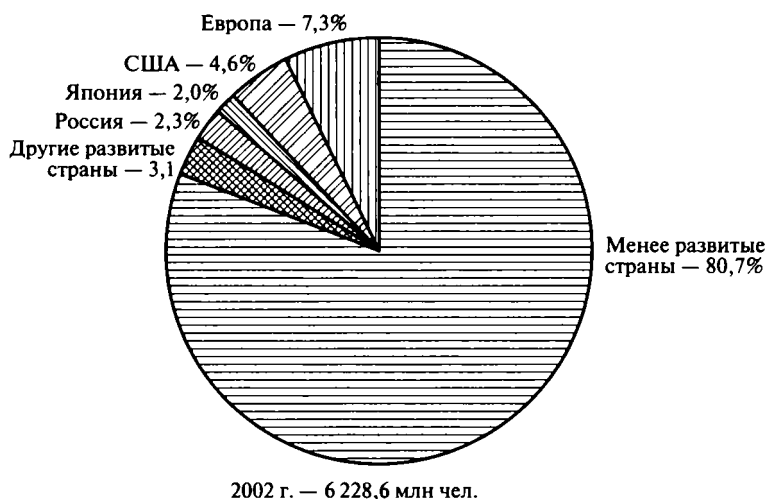
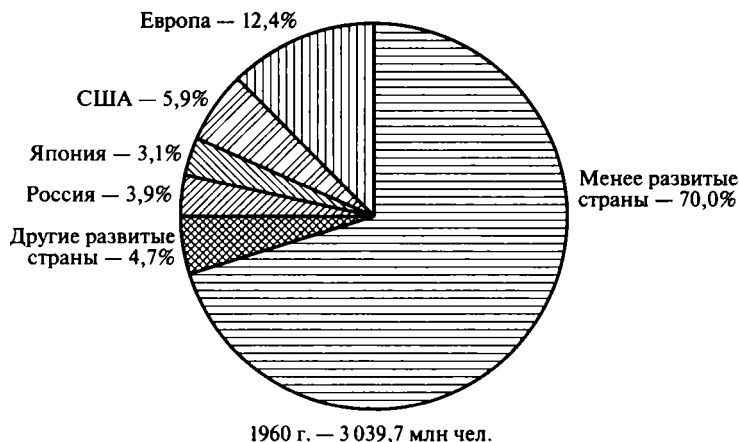


Рис. 3.3. График роста численности населения в прошлом и прогноз на XXI в. (по данным Всемирного банка и ООН, Т. Миллер, 1993)





**Рис. 3.4. Изменение геополитической структуры населения в 1960 — 2002 гг.**

нах численность населения быстро растет. К ним относятся так называемые развивающиеся страны Юга Азии, Латинской Америки, Африки. Они находятся на различных этапах развития и численность их населения увеличивается. К третьей категории относятся страны, в которых благодаря социальным 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 80 %, а к 2030 г. в этих странах будет проживать около 85 % населения всего земного шара (рис. 3.4).

Необходимо отметить, что если в начале XX в. практически все страны Западной Европы относились к странам первой категории, то в настоящее время большинство из них, как отмечалось ранее, 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, а для развивающихся стран это соотношение существенно неодинаково: резко преобладает доля молодых людей, что является основой для дальнейшего роста численности населения с соответствующим увеличением антропогенной нагрузки на природные ландшафты и ресурсы.

Остановимся на некоторых особенностях этого роста. В учебнике по геоэкологии данную проблему подробно разбирает Г. Н. Голубев (2006). Если численность населения какой-либо страны возрастает до такого уровня, что его потребности превышают природный потенциал, обеспечивающий возобновимость некоторых природных ресурсов (местные леса, пастбища, почвы, воды 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. В Бангладеш плотность населения в 1997 г. составляла 764 чел./км<sup>2</sup>, а в 2025 г. ожидается 1 500 чел./км<sup>2</sup>.

На отдельных континентах неодинаков рост численности населения. Так, численность населения Северной Америки за последние 250 лет увеличилась в пять — семь раз, а Южной Америки — пример-

но в 20 раз. Именно во столько же раз увеличилась антропогенная нагрузка на природные ресурсы и условия.

Человечество встало перед необходимостью решать продовольственную проблему — в настоящее время в мире насчитывается более 1 млрд голодающих людей (см. рис. 3.1). Каждый третий из общего числа умерших погибает от голода или причин, связанных с недоеданием. Отсюда вытекает необходимость решения проблемы роста численности населения и в некоторых странах уже приняты соответствующие законы. Важным показателем является коэффициент фертильности — среднее число детей на одну женщину. При коэффициенте фертильности, равном 2,1 — 2,2, численность населения стабилизируется (табл. 3.2).

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

Неправильная демографическая политика и традиционность мышления вместе с экстенсивным возделыванием орошаемых 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

**Таблица 3.2. Коэффициент фертильности (число детей на одну женщину) (Источник INED)**

Страна	1981 г.	2001 г.	Страна	1981 г.	2001 г.
США	1,8	2,1	Таиланд	3,7	1,8
Канада	1,8	1,4	Филиппины	5,0	3,5
Великобритания	1,9	1,7	Индия	5,3	3,2
Франция	1,9	1,9	Аргентина	2,9	2,6
Германия	1,3	1,3	Мексика	4,8	2,8
Испания	2,5	1,2	Бразилия	4,4	2,4
Россия	2,0	1,2	Колумбия	3,9	2,6
Украина	1,9	1,1	Венесуэла	4,9	2,9
Япония	1,8	1,3	Танзания	6,5	5,6
Китай	2,3	1,8	Эфиопия	6,7	5,9
Вьетнам	5,8	2,3	Заир	6,1	7,0

Аральского моря, бассейнов рек Амударья и Сырдарья, района Великих озер в Северной Америке и т.д.

### 3.2. Рост темпов потребления природных ресурсов

Другим немаловажным социально-экономическим фактором, напрямую влияющим на экологическую обстановку, является рост темпов потребления природных ресурсов (рис. 3.5). С одной стороны, он обусловлен ростом численности населения, с другой — необходимостью повышения благосостояния населения. Использование ресурсов жителями разных стран часто превышает их разумные потребности. Известно, что обобщенный уровень потребления среднего жителя Швейцарии приблизительно в 40 раз выше уровня потребления жителя Сомали.

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 ресурсы (рис. 3.6).



Рис. 3.5. Рост промышленного производства и численности населения мира. Показатели за 1900 г. приняты за 100%. Промышленное производство на душу населения за 230 лет возросло в 15 раз (по Г. Н. Голубеву, 2006)



**Рис. 3.6. Основные виды природных ресурсов**

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 массивов 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 в атмосферу выбрасывается огромное количество углекислого газа.

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

Полное отсутствие минерально-сырьевых запасов топлива в одних странах и низкая обеспеченность минеральными ресурсами других,

а также слабая гидроресурсная база привели к тому, что в качестве 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.

### 3.3. Геоэкологическая роль технического прогресса

Одним из главных социально-экономических факторов, воздействующих на окружающую среду как в позитивном, так и 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 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 в. достигло 65, в середине — 85, а на рубеже XX — XXI вв. наука и промышленность потребляли 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 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 микроэлектронная отрасли промышленности.

Развитые страны, в которых проживает 16 % населения земного шара, потребляют более половины добываемого в мире минерально-

го 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 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, находящиеся и 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, вырабатываемого 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 достигли критического уровня. Особенно это касается сильно урбанизированных территорий 1 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. не было ниже 15— 18 %. Это обеспечивало жизнь организмам и нормальное течение окислительно-восстановительных процессов на земной поверхности.

Осознавая, что в результате хозяйственной деятельности все более ухудшается состояние 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 синезеленых 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 включаются 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.

Мощное антропогенное воздействие, выраженное в форме выбросов парниковых газов и разнообразных термодинамически активных примесей, способствует нарушению теплового баланса приземных слоев атмосферы. Происходит так называемое тепловое заражение атмосферы Земли. Наряду с повышением содержания углекислого газа и паров воды, создающих в атмосфере высокий парниковый эффект, происходит выделение в огромных количествах техногенной теплоты. Все это в конечном итоге приводит к повышению температуры приземных слоев атмосферы.

Прогрессирующая нагрузка на окружающую среду происходит и за счет истощения природных ресурсов и использования отсталых технологий добычи, обогащения и переработки сырья. В данном 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.

Как отмечает ряд исследователей, весьма актуальной проблемой, определяющей глобальные экологические изменения, является все возрастающий внешнеэкономический долг некоторых государств, который не позволяет модернизировать производства и совершенствовать технологию добычи и обогащения сырья.

*Интенсивность и объемы воздействия на природную среду зависят от численности населения. Народонаселение представляет собой важнейший геоэкологический фактор, поскольку предопределяет суммарные потребности общества в питании, одежде, жилище. 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.*

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Каковы положительные и отрицательные моменты учения Мальтуса?
2. В чем заключается влияние численности населения на экологические функции геосфер?
3. На чем основано представление о важности населения как геоэкологического фактора?
4. Что такое коэффициент фертильности?
5. В каких странах наблюдается наиболее интенсивный рост народонаселения?
6. Какие еще социально-экономические факторы влияют на геоэкологию?

## **ЛИТЕРАТУРА**

*Лосев К. С. Экологические проблемы и перспективы устойчивого развития России в XXI веке. — М., 2001.*

*Проблемы экологии России / [К. С. Лосев и др.]. — М., 1993.*

# Глава 4

## 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.Гиурсова (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 тыс. лет. В это время осуществлялся постепенный переход от присваивающего хозяйства (бортничество и охота) к производящему (земледелие и скотоводство). История цивилизаций изобилует экологическими кризисами и революциями (рис. 4.1).

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 энер-



Рис. 4.1. Экологические кризисы и революции в истории цивилизации

гии реализовывалась в основном путем использования армии рабов и в меньшей степени разнообразными механическими приспособлениями. Необходимость освоения новых площадей под земледелие и скотоводство приводила к необходимости широкомасштабной и интенсивной вырубке лесных массивов и использованию подсечно-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 (вначале пара, затем электроэнергии). 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 вы-

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, неизвестными 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 макро-структур 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.

**Экологический кризис** (по И.И.Дедю) — ситуация, которая возникает в экологических системах в результате нарушения равновесия под воздействием стихийных природных явлений или в результате воздействия антропогенных факторов (загрязнения атмосферы, гидросферы, педосферы, зарегулирования рек, вырубки лесов и др.).

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 (Греции, Италии). Начиная с 1600 г. по настоящее 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). Антропогенный экологический кризис консументов привел к второй сельскохозяйственной революции широкого освоения неналивных земель.

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 считают истощение земель в результате применения подсечно-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 р. Амударья. 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 км<sup>2</sup> культурных земель. Кризис примитивного поливного земледелия приводит в конечном результате к промышленной революции.

Деградация природной среды усилилась в глубокой древности с возникновением, дальнейшим развитием и усовершенствованием горного дела. Уже в VII в. до н.э. в Греции стали разрабатывать свинцово-серебряные рудники, причем глубина некоторых шахт нередко достигала 100 м. Поражает масштабность горных выработок, произведенных на заре палеолита. Они располагаются на территории Нидерландов. В толщах меловых пород имеются включения разнообразных по форме и размерам кремниевых конкреций. Именно они служили объектом добычи. Рядом с первобытными шахтами добытые кремниевые конкреции расщепляли и из них изготавливали кремневые 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, что 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.

Современный глобальный экологический кризис часто называют «кризисом редуцентов», поскольку биосфера не может очиститься от антропогенного загрязнения или не способна это сделать, так как многие отходы являются ксенобиотиками. Иначе говоря, биосфера потеряла способность к самовосстановлению. В настоящее время можно также говорить о глобальном термодинамическом (тепловом) кризисе и кризисе надежности экологических систем, поскольку их существование уже определяется.

Выход из любого антропогенного кризиса сопровождается, как правило, уменьшением численности населения или его миграцией, социальными потрясениями или сменой общественного строя. Так, кризис консументов вызвал переселение народов, изменение первобытно-общинного строя на рабовладельческий.

Однако кроме негативных воздействий на природную среду имелись 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 огромнейшие по площади открытые карьеры угольных месторождений стали во все возрастающих масштабах наносить 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.** Наблюдающаяся деградация 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 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 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 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 того 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 первозданном 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 настоящего вре-



мени 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 загрязнением водных систем.

**Концепция технократического оптимизма.** В основе этой концепции лежит представление о неисчерпаемости природных ресурсов, их возобновляемости и полном господстве человека над природой. Этот постулат заложили еще А. Смит и Д. Риккардо, жившие в Англии в XVII в. Несмотря на полную очевидность негативных последствий научно-технического прогресса (НТП), 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 НТП.

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 урожаи от действия суховея, предотвратить масштабную эрозию почв, осуществить некоторые мелиоративные работы и т.д.

Идеи преобразования природы пропагандировались настолько широко, что даже один из зачинателей природоохранного движения в нашей стране А. Д. Арманд поддался их соблазну и стал распростра-

мать 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 ею, 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 (1968) 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 «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 исследованиям, 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 predetermined; 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 Медоуз допускают несколько возможных сценариев развития.

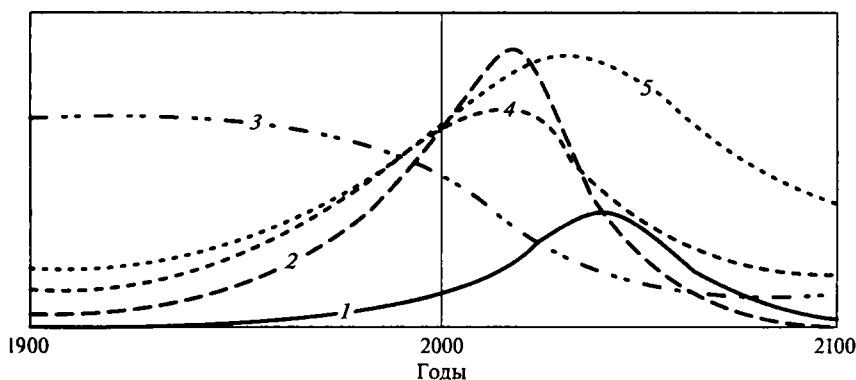
1. В случае истощения природных ресурсов неизбежно замедление промышленного и сельскохозяйственного производств с последующим падением численности населения Земли и возникновением экологической катастрофы (рис. 4.2, 4.3).

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.

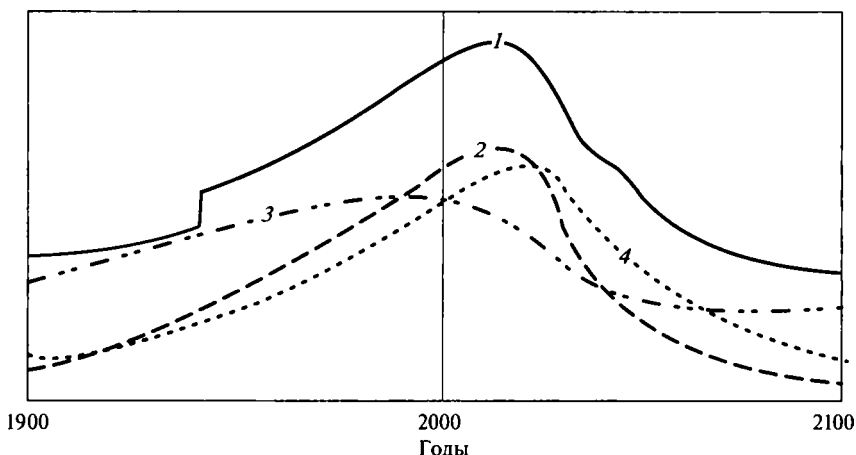
Несмотря на то что прогнозы не являются оптимистическими, «Римский клуб» давал по крайней мере две важнейшие рекомендации: стабилизировать рост народонаселения и развивать современное экологически чистое производство. Их выполнение сможет отдалить, а возможно даже предотвратить экологическую катастрофу. 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 высокорadioактивных, в глубоких горизонтах земных недр, захоронение радиоактивных отходов и химического оружия в водах Мирового океана.

В 1992 г. Д. Медоуз с соавторами опубликовал 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 экономикой и другие



**Рис. 4.2. Сценарий 1. Состояние мира (по Ю.Л.Хотунцеву, 2004):**

1 — уровень загрязнения окружающей среды; 2 — объем промышленного производства; 3 — ресурсы; 4 — объем производства продуктов питания; 5 — численность населения



**Рис. 4.3. Сценарий 1. Материальный уровень жизни (по Ю.Л.Хотунцеву, 2004):**

1 — продолжительность жизни; 2 — объем производства потребительских товаров на душу населения; 3 — объем производства продуктов питания на душу населения; 4 — объем услуг на душу населения

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:

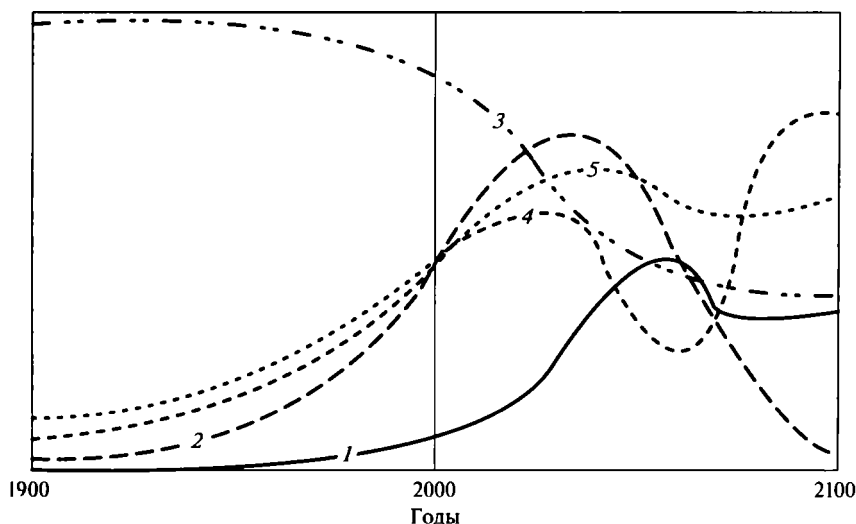
1. Для всех практических целей этот конечный мир не имеет пределов. Но, оказавшись за его пределами, катастрофы избежать не удастся.

2. Пределы существуют и они близки, а времени почти не осталось. Если люди не смогут умерить свои запросы, стать ответственными и испытывать сострадание, может наступить катастрофа.

3. 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 (рис. 4.4).

Во втором докладе «Римскому клубу» М. Мессаровича и Э. Пестеля «Человечество на перепутье» (1974) основное внимание было уделено изучению мира как системы взаимосвязанных регионов. Их основной вывод состоит в том, что если оставить экономические отношения такими, какие они есть, то существующее различие между развитыми и развивающимися странами будет усиливаться. Поэтому необходима помощь развивающимся странам в интересах всех государств мира.

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 (1992). Единство природы и человека неоднократно отражалось научными разработками начиная с XVIII в., а в настоящее время это многократно подтверждается практикой. Французский зоолог Ж.Дорст (1968) писал:



**Рис. 4.4. Состояние мира, если будет принята программа стабилизации численности населения (по Ю.Л.Хотунцеву, 2004):**

1 — уровень загрязнения окружающей среды; 2 — объем промышленного производства; 3 — ресурсы; 4 — объем производства продуктов питания; 5 — численность населения

«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 необходимо 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. Печчеи 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 данной 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 неравновеликих 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 три модели пределов роста развития мира?
11. В чем заключается суть концепции устойчивого развития?

#### ЛИТЕРАТУРА

*Бахтеев М. К.* Геоэкология. — Дубна, 1997.

*Клубов С. В.* Геоэкология: история, понятия, современное состояние / С. В. Клубов, Л.Л. Прозоров. — М., 1993.

*Пригожин И.* Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой / И.Пригожин, И.Стенгерс. — М., 1986.

### 5.1. Космическая радиация

Среди природных явлений, воздействующих на геологическую среду и географическую оболочку, немаловажную роль играют космические процессы. Они вызываются приходящей энергией, в том числе гелиомагнитным воздействием, веществом падающих на Землю космических тел разного размера — метеоритов, астероидов и комет, а также гравитационным влиянием космоса.

Мощный поток космического излучения, направленного к Земле со всех сторон Вселенной, существовал всегда. «Наружный лик Земли и жизнь, наполняющая его, являются результатом разностороннего 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 (1976).

Крайне важным параметром является солнечная активность, период колебаний которой составляет 22 года. Влияние Солнца распространяется на значительные расстояния и называется *гелиосферой*. В центре Солнца постоянно идут термоядерные реакции, при этом высвобождается огромная энергия. Для нас наиболее важными процессами, происходящими на Солнце, являются солнечные пятна и связанные с ними солнечные вспышки. Эти процессы вызывают магнитные бури и радиационные потоки, которые на 99 % представляют собой коротковолновую радиацию с длиной волны от 0,1 до 4 мкм (ультрафиолетовый — менее 0,4 мкм, видимый свет — 0,4...0,76 мкм, инфракрасный — более 0,76 мкм) (рис. 5.1). Потоки солнечных космических лучей, рождающихся при вспышках, оказывают сильное влияние на физические процессы в верхней атмосфере и на Земле. Далеко от Солнца простирается постоянно движущийся поток плазмы — солнечный ветер или корпускулярное излучение. Спокойный солнечный ветер имеет скорость 250 — 500 км/с, а при повышенной солнечной активности (во время вспышек) его скорость равна 800 и даже 1 000 км/с и достигает Земли через 10 — 20 ч. Во вре-

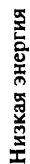


Рис. 5.1. Спектральный состав излучения Солнца (по Т. Миллеру, 1993)

мя вспышек особенно сильно возрастет жесткое электромагнитное излучение. Интенсивные потоки электромагнитной радиации достигают Земли через 8 мин, так как распространяются со скоростью 300 тыс. км/с. Выделяются три защитные сферы Земли: магнитосфера, ионосфера и атмосфера.

*Магнитосфера* — это самая внешняя оболочка Земли. Ее существование и строение обусловлены взаимодействием солнечного ветра с дипольным магнитным полем Земли. В магнитосфере Земли наиболее сильные возмущения происходят во время солнечных вспышек, которые проявляются на Земле в виде магнитной бури. Магнитное поле Земли экранирует ее от корпускулярной радиации, при этом оно сжимается и приобретает форму вытянутой полости (рис. 5.2). Отдельные потоки солнечного ветра все-таки просачиваются в магнитосферу и, перемещаясь вдоль силовых линий, образуют радиационные пояса вокруг Земли — зоны, состоящие из заряженных частиц разных энергий (рис. 5.3). Внешний радиационный пояс располагается на высоте 15 — 20 тыс. км и содержит большое число электронов, количество которых значительно возрастает во время магнитных бурь. На спутниках связи, орбиты которых располагаются на этих высотах, выходят из строя космические приборы и солнечные батареи. Внутренний радиационный пояс с значительным количеством протонов располагается на высоте 7—12 тыс. км. При пролете этой зоны на пилотируемых кораблях можно получить

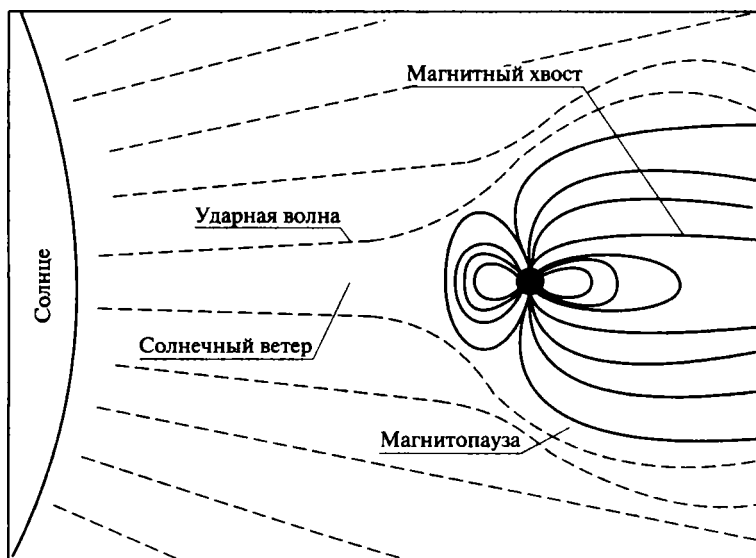
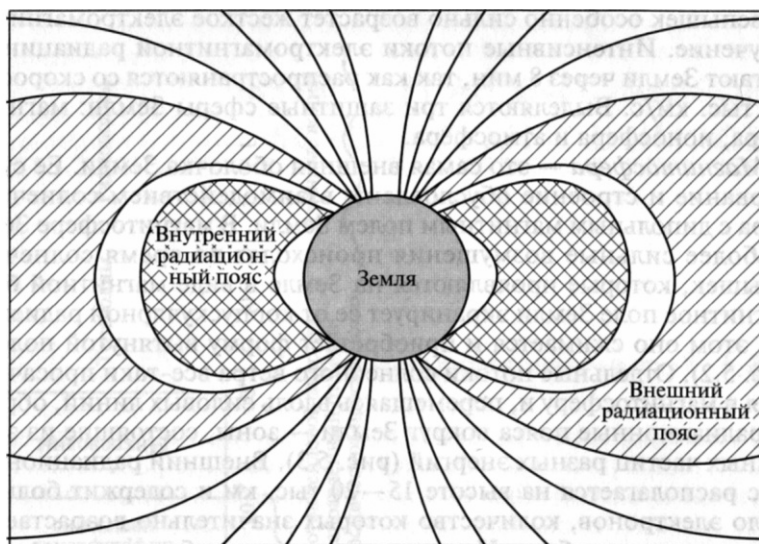


Рис. 5.2. Магнитное поле Земли, трансформированное потоком солнечного ветра



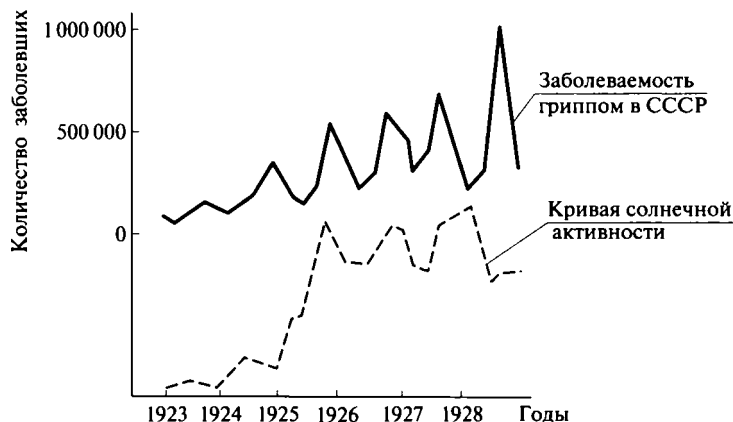
**Рис. 5.3.** Внешний и внутренний радиационные пояса в магнитосфере Земли

значительные дозы облучения. Отдельные части солнечного ветра наиболее глубоко проникают в магнитосферу в приполярных районах, вызывая полярные сияния.

Второй защитной сферой является *ионосфера* — самая плотная плазменная оболочка Земли. Здесь наблюдается повышенное содержание ионов и свободных электронов. Наибольшее их число образуется на высотах 80 — 400 км. При вспышках на Солнце ионосфера поглощает рентгеновское излучение, нагревается и раздувается. При этом повышается сопротивление движению спутников и могут измениться параметры орбит, нарушается радиосвязь.

Третьей защитной сферой считается *озоновый слой*, расположенный на высоте 20 — 60 км. Он полностью поглощает излучение в диапазоне 0,22 — 0,29 мкм (ультрафиолетовое излучение).

Наибольшее влияние из всех сфер Земли Солнце оказывает на биосферу. В книге А. Г. Чижевского «Эхо солнечных бурь» (1976) рассматривается связь активности Солнца и различных процессов, происходящих на Земле (рис. 5.4, 5.5). Намечается следующая схема влияния солнечной активности на биосферу. Возмущения на Солнце приводят к возмущению межпланетной среды, которая передает возмущение магнитосфере и ионосфере Земли. Это влияет на изменения напряженности и спектра электромагнитных полей на поверхности Земли, что вызывает сдвиг в физиологических и генетических показателях организма. Магнитные бури влияют на сердечно-



**Рис. 5.4.** Заболеваемость гриппом в СССР в 1923— 1929 гг. и солнечная активность за этот же период (по А. Г. Чижевскому, 1976)

сосудистую систему, растет недостаточность кровоснабжения из-за спазмов сосудов, часто возникают инфаркты и инсульты.

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 не-



**Рис. 5.5.** Сопоставление изменений напряженности геомагнитного поля в течение суток с частотой приступов у больных, страдающих эпилепсией (по А. Г. Чижевскому, 1976)

равномерным, 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 криптозооя и фанерозоя во время «популяционного взрыва». Сегодня можно

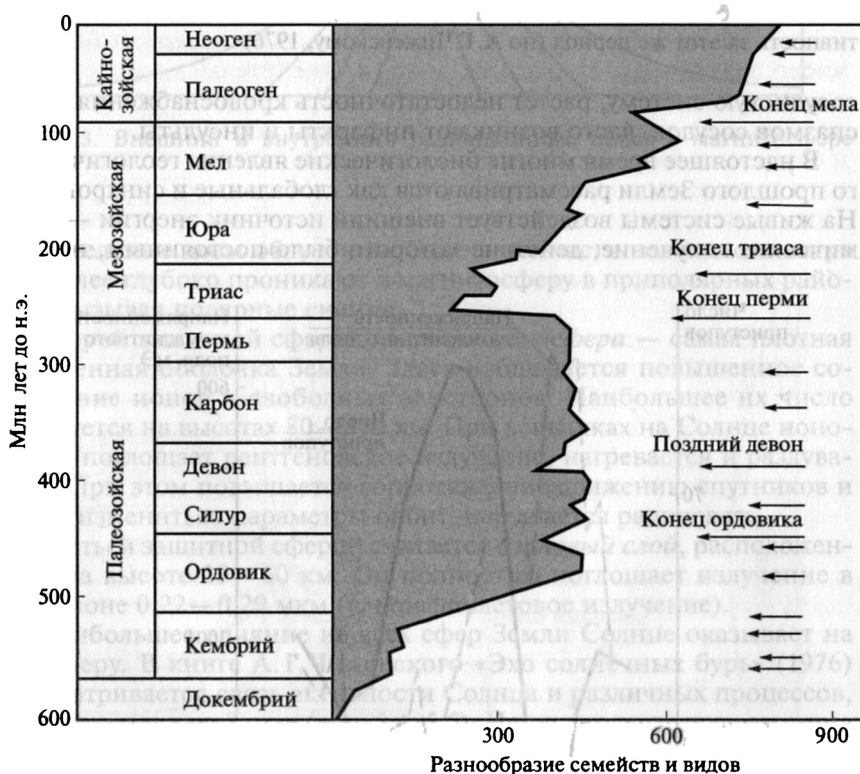


Рис. 5.6. Главные события вымираний (показаны стрелками) с указанием их влияния на степень разнообразия видов в океанах в течение геологического времени. Длина стрелок пропорциональна интенсивности вымирания (по Sepkoski, 1987, упрощенно; по М. К. Бахтеву, 1997)

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, 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 (рис. 5.6). Не без участия космического излучения возник озоновый экран, сыгравший определяющую роль в дальнейшем направлении земной эволюции живых организмов.

## 5.2. Воздействие космического вещества

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 диаметр менее 100 м, ударно-взрывные — как правило, свыше 100 м. Предполагается, что астроблемы появились 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 (рис. 5.7).

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 до 1 000 км. Их орбиты находятся между орбитами Марса и Юпитера. Это так называемый пояс астероидов. Орбиты некоторых астероидов проходят





Рис. 5.7. Распределение астроблем на поверхности Земли

близко к Земле. Астрономы предполагают, что в ближнем поясе астероидов курсирует несколько миллионов каменных глыб.

Кометы — небесные тела, движущиеся по сильно вытянутым орбитам. Центральная наиболее яркая часть комет 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 образован ионами газов и частицами пыли, которые улетучились из ядра под действием солнечных лучей. Длина хвоста может достигать десятков миллионов километров. Ядра комет располагаются за пределами орбит всех планет в так называемых кометных облаках Оорта.

В то время как после падения астероидов остаются своеобразные кратеры — астроблемы, 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 *импактиты*, а возникающие при этом структуры называют *импактными*.

Пролетающие близко к Земле кометы притягиваются благодаря действию земного притяжения, 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.

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  $\text{SiO}_2$  — *коэсит* и *стишовит*, мелкие кристаллы 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 происхождения ударным.

В породообразующих и акцессорных минералах кратера, таких, как кварц, полевые шпаты, циркон и др., образуются планарные структуры, или *деформационные ламеллы*, — тонкие трещины в несколько микрометров, расположенные обычно параллельно определенным кристаллографическим осям зерен минералов. Минералы с планарными структурами называют шоковыми.

Импактиты представлены стеклами плавления, часто с обломками различных минералов и пород. Они подразделяются на туфово-подобные — *зювиты* 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.

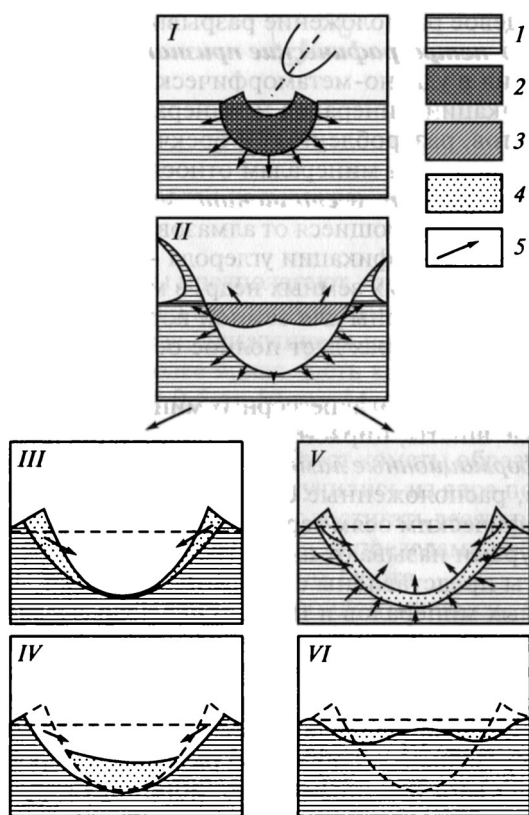
Геофизическими признаками космогенных структур являются кольцевые аномалии гравитационных и магнитных полей. Центру кратера обычно соответствуют отрицательные или пониженные магнитные поля, гравитационные минимумы, осложненные иногда локальными максимумами.

Геохимические признаки определяются обогащенностью тяжелыми металлами (Pt, Os, Ir, Co, Cr, Ni) анализируемых горных по-

род 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.

**Сценарии образования космогенных структур и реальность космических катастроф.** Один из сценариев образования космогенных структур был предложен Б. А. Ивановым и А. Т. Базилевским (рис. 5.8).

Приближаясь к поверхности Земли, космическое тело соударяется с ней. От точки удара распространяется ударная волна, приводящая в движение вещество в месте удара. Начинает расти полость будущего-



**Рис. 5.8. Примерный «сценарий» образования метеоритных кратеров:**

1 — 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 перемещений материала; I—VI— последовательность образования кратеров

го кратера (см. рис. 5.8, /). Частично за счет выброса, частично за счет преобразования и выдавливания разрушающихся пород полость достигает максимальной глубины. Образуется временный кратер (см. рис. 5.8, //). При малом размере космического тела кратер может оказаться устойчивым (см. рис. 5.8, III). В другом случае разрушенный материал сползает с бортов временного кратера и заполняет дно. Формируется «истинный кратер» (см. рис. 5.8, IV).

В ударном событии большого масштаба происходит практически мгновенная потеря устойчивости, приводящая к быстрому вздыманию днища кратера, обрушению и опусканию его периферических частей. При этом образуется «центральная горка» (см. рис. 5.8, V), а кольцевое углубление заполняется смесью обломков и импактного расплава (см. рис. 5.8, VI).

В истории Земли органический мир неоднократно испытывал потрясения, в результате которых происходили массовые вымирания. За сравнительно короткие 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, см. рис. 5.6). Их наступление и существующую периодичность многократно пытались объяснить многими независимыми причинами. Современные исследования показывают, 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. Непосредственным источником причин массовых вымираний являются колебания физических параметров среды, ее неблагоприятные для жизни изменения.

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 и «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 и 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. Вблизи Земли пролегают орбиты от пятисот до тысячи астероидов, а реальную опасность представляют астероиды размером более 1 км, которые падают

на Землю раз в 100 тыс. лет и способны стать причиной глобальной катастрофы. Более того, они не только корректировали численность живых существ и видоизменяли природные условия, но и привносили 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 (диаметром не менее 10 км) 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 кернах буровых скважин в океанах. В тех же пограничных слоях были найдены микросферы минералов, образовавшихся в результате взрыва, обломочные зерна шокового кварца, изотопно-геохимические аномалии  $^{13}\text{C}$  и  $^{18}\text{O}$ , 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 диаметром 180 км и глубиной около 15 км на севере п-ва Юкатан (Мексика).

Этот кратер обнаружен во время бурения и оконтурен по гравитационной и магнитной аномалиям. В кернах скважины установлены брекчированные породы, импактные стекла, шоковый кварц и полевой шпат. Выбросы из этого кратера обнаружены на далеком расстоянии — на о-ве Гаити и в Северо-Восточной Мексике. На границе мела и палеогена найдены 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 расположен 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 выявляется 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 Декан (Индия) 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 и атмосферу парниковых газов — углекислого газа 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 увеличение пластов 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 на 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 Несмирный потоп, описанный в Ветхом Завете. В 1991 г. австрийские ученые, супруги Эдит Кристиан-Толман и Александр Толман, по

годовичным кольцам деревьев, резкому 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 тыс. 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, выброшенной 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 коснулось 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.

### 5.3. Гравитационное влияние космоса

Многие ученые считают, что взнезменные факторы оказывают значительное влияние на геодинамические процессы, происходящие на Земле. Циклические климатические изменения на Земле, отражающиеся в смене сухого и теплого климата на влажный и прохладный, часто связывают с влиянием крупных планет Солнечной системы, таких как Юпитер и Сатурн. Но наиболее заметны гравитационное воздействие Луны и Солнца и создаваемые ими приливные силы. В работах Ю. Н. Авсюка (2005) показано действие приливной силы в изменении параметров как орбитального, так и вращательного движения Земли. Внешние силы могут оказать воздействие, когда в каких-либо процессах наблюдается неустойчивое равновесие. Так, в проявлении сейсмичности малейшие изменения приложения внешних сил могут привести к разрядке накопившихся напряжений. В большинстве районов планеты происходит два прилива и два отлива в течение лунных суток. Приливное воздействие наблюдается и на суше. Например, в районе г. Москва при сизигейном, т.е. максимальном, приливе наблюдается повышение уровня поверхности на 30 см. Для многих морских животных характерны приливные ритмы.

*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 определенным способом перераспределяются. Падения астероидов 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.

Факторами опасности из космоса являются магнитные бури, которые приводят к проблемам с сердечно-сосудистой системой у человека, опасности радиационного заражения в космосе и сбою в работе электросистем. При падении крупных астероидов возможны землетрясения, пожары, запыленность атмосферы, кислотные дожди и др.

### **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. Какое событие произошло на рубеже мела и палеогена?
- К. Назовите основные факторы опасности, исходящие из космоса.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- Короновский Н. В. Общая геология. — М., 2010.
- Хаин В. Е. Основные проблемы современной геологии (геология на пороге XXI века). — М., 1994.
- Чижевский А. Г. Эхо солнечных бурь. — М., 1976.



## 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.

По резкой смене температур в атмосфере выделяют несколько слоев (сфер). Границы между ними носят название пауз (тропопауза, стратопазуза, мезопазуза) (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*.

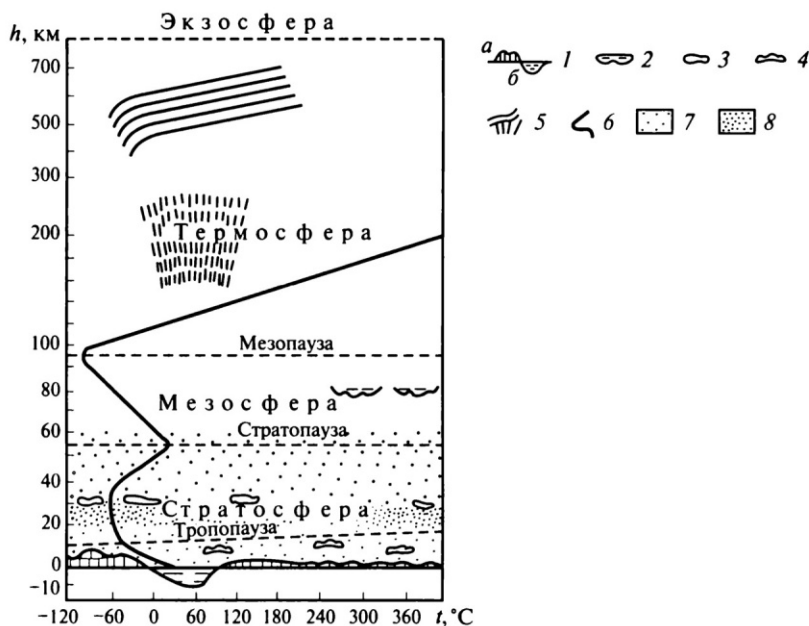
В *стратосфере* происходит резкое повышение температуры, достигающее 0 °C на высоте 55 км, где проходит *стратопазуза*. В стратосфере количество азота и кислорода уменьшается, а содержание водорода, гелия и других легких газов увеличивается. Между тропосферой и стратосферой располагается озоновый слой.

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

падение температуры с увеличением высоты и достигает  $-70$ ,  $-80$  °С в *мезопаузе*. В *термосфере* температура повышается, достигая на высоте 400 км  $1\ 200$  °С. 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.

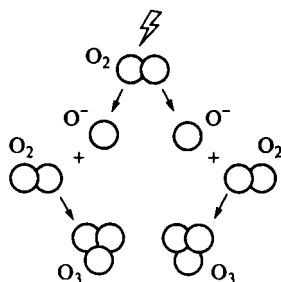
Стратосфера в интервале от 15 до 55 км содержит озон, состоящий из трех атомов кислорода ( $O_3$ ). Максимум его концентрации отмечается на высотах 17 — 25 км. В озоновом слое содержится до 90 % обще-



**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)

Рис. 6.2. Образование молекулы озона



го количества атмосферного озона. Небольшая часть озона возникает в тропосфере во время грозы и при электрических разрядах (рис. 6.2). 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 взры-

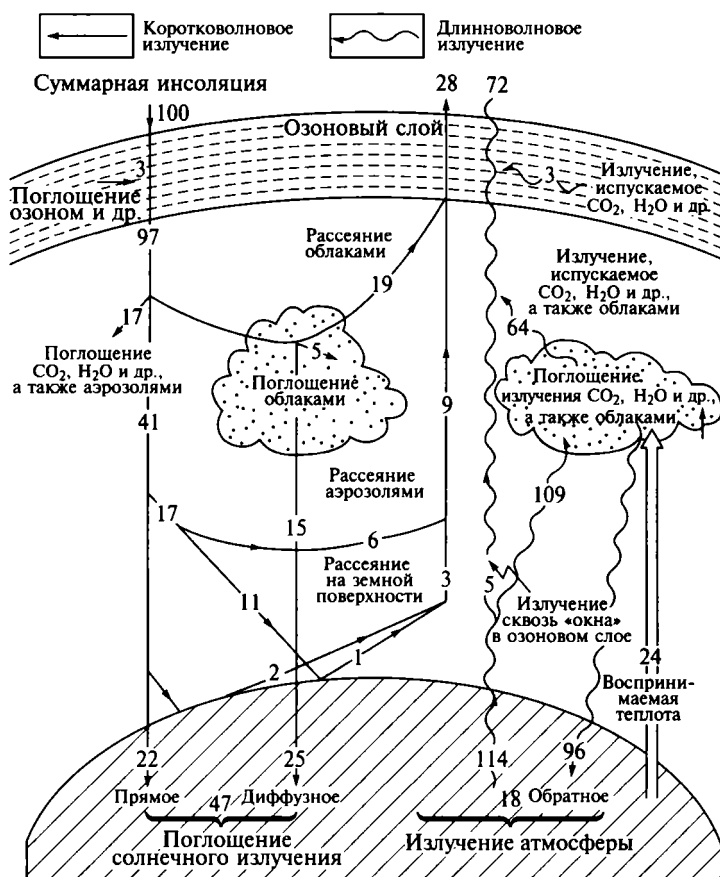


Рис. 6.3. Тепловой баланс «Земля — атмосфера» (в % от поступающей солнечной энергии)

воопасен. 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 (длина волны от 0,01 до 0,39 мкм) с длиной волны менее 0,24 мкм, когда часть молекулярного кислорода распадается на атомы, которые затем пристраиваются к целым молекулам. На создание озонового слоя расходуется почти весь приток ультрафиолетовых лучей (рис. 6.3). 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.

## 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 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 видоизменился. 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  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ , серы и ее соединений, а также сильных галогенных кислот —  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и борной кислоты, которые дополнялись находившимися в атмосфере метаном, аммиаком, водородом, аргоном и некоторыми другими благородными газами. Эта первичная атмосфера была чрезвы-

чайно тонкой. 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 сине-зеленых водорослей, вулканических процессов и действия солнечных лучей стал трансформироваться. Привело это к разложению метана на водород и углекислоту, аммиака — на азот и водород; во вторичной 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, вначале в основном расходовался на окисление атмосферных газов, а затем и горных пород. При этом аммиак, окислившись 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  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ , 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 силурийском 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 одноклеточные 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 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 анаэробный 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 выходявших 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 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 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 назад.

Таким образом, газовый состав атмосферы не только предоставлял 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. 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. 6.4) 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.

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 сказыва-

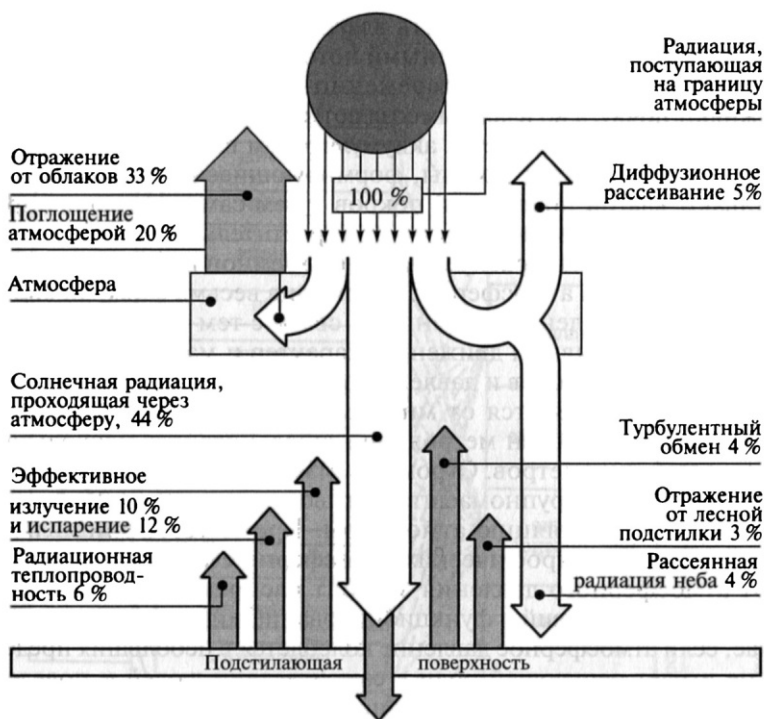


Рис. 6.4. Распределение солнечной радиации



ются 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 которой 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 (рис. 6.5).

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.

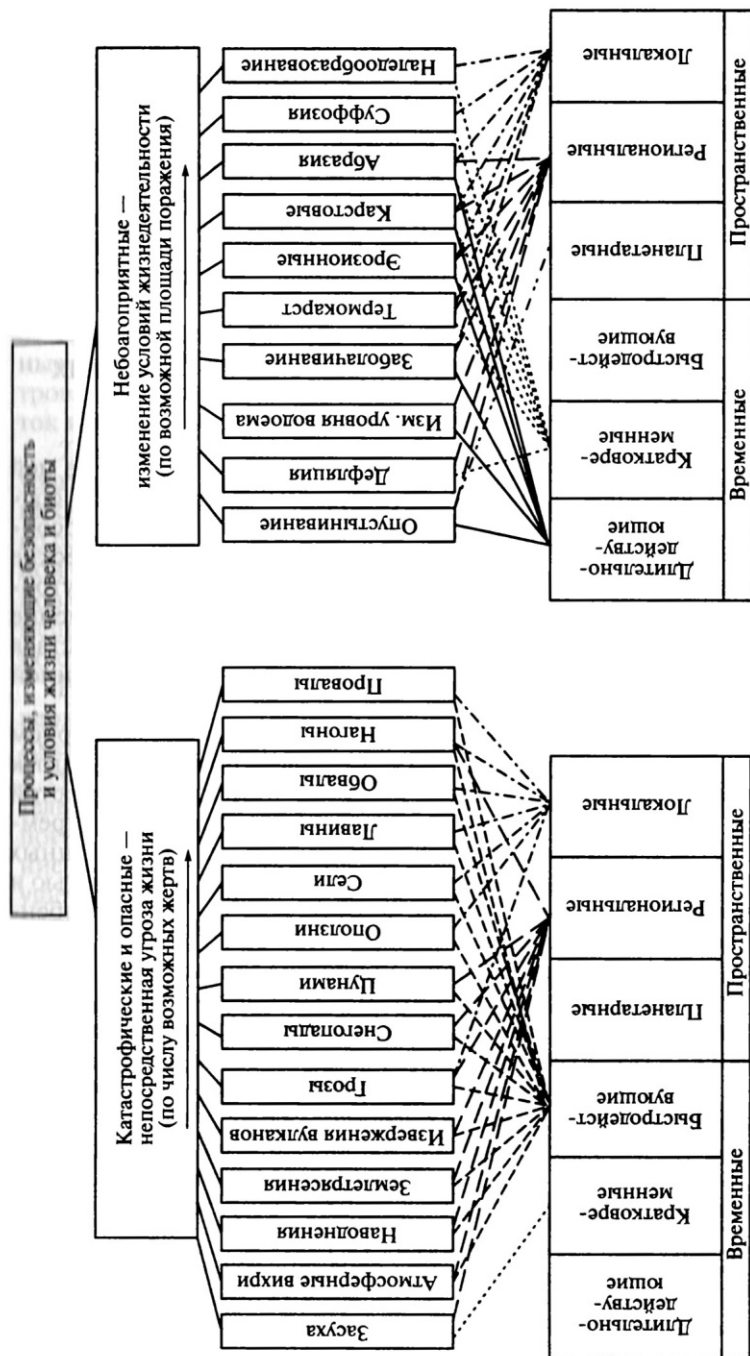


Рис. 6.5. Систематика геологических и других природных процессов по интенсивности негативных воздействий на биоту (включая человека) (по Н. С. Красиловой, 1997)

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 «перламутровых» облаков, состоящих из водяного пара. Глобальное изменение отражательной способности, так же как изменения газового состава атмосферы, главным образом парниковых газов, является 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 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. Ветры со скоростями 19 — 30 м/с образуют бурю, 30 — 35 м/с — шторм, а более 35 м/с — ураган.

**Атмосферные вихри.** В результате перемещения воздушных масс возникают атмосферные вихри, которые можно подразделить по уменьшению кинетической энергии на циклоны, шквалы, смерчи (торнадо).

*Циклоны* 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, против часовой — в Северном. Циклоны 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.

Циклоны подразделяют на циклоны средних широт и тропические.

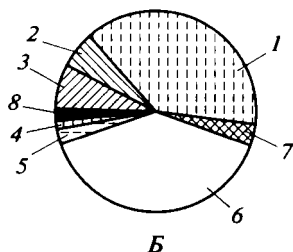
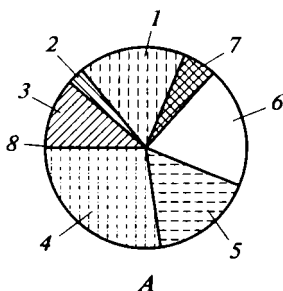
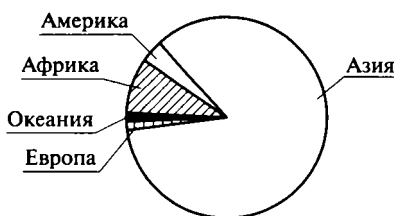
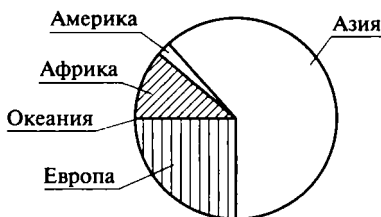
*Циклоны средних широт* имеют значительный диаметр, поперечные размеры их составляют от тысячи до нескольких тысяч километров. В Северном полушарии они движутся обычно с запада на восток и серьезные неприятности причиняют редко.

*Тропические циклоны* имеют разные региональные названия — ураганы, тайфуны и др. Ежегодно возникает около 80 тропических циклонов. Тропические циклоны имеют среднюю ширину в несколько сот километров. Скорость ветра внутри циклона достигает ураганной силы — 300 — 360 км/ч. Продолжительность тропических циклонов составляет от нескольких дней до нескольких недель. Они перемещаются со скоростью от 50 до 200 км/ч. Ураганы классифицируют по скорости ветра и давлению в центре (табл. 6.1).

Негативному воздействию тропических циклонов наиболее подвержены страны Юго-Восточной Азии, Южной и Центральной Америки, США, Камчатка, Сахалин, Курильские острова, Приморье. В густонаселенных районах Азии число жертв бывает очень значительным. Так, в 1970 г. в результате тропического циклона в Бангладеш погибло 300 тыс. человек, а в 1991 г. там же ураган вызвал образование морских волн высотой 6 м и погибло 125 тыс. человек. Большой ущерб наносят тайфуны на территории США. При этом гибнут десятки и сотни людей (рис. 6.6).

**Таблица 6.1. Категория ураганов по шкале Саффир—Симпсона**

Категория	Атмосферное давление в центре, мбар	Скорость ветра, м/с	Причиняемый ущерб
1	Свыше 980	34—42	Незначительный
2	965—979	43—48	Небольшой
3	945—964	49—57	Значительный
4	920—944	58—68	Очень большой
5	Ниже 920	Выше 68	Колоссальный



**Рис. 6.6. Количество погибших и пострадавших от бедствий на планете начиная с 1900 по 1995 г. (по Као, 1996, из кн. В. В. Дмитриева, 2008):**

*А* — количество погибших (45,1 млн чел.) по континентам (верхняя) и по видам бедствия (нижняя); *Б* — количество пострадавших (3,72 млн чел.) по континентам и от различных бедствий: 1 — речные наводнения; 2 — циклоны и ураганы; 3 — гражданские войны; 4 — эпидемии; 5 — голод; 6 — засухи; 7 — землетрясения; 8 — остальные виды бедствия

Разрушения и гибель людей в результате воздействия атмосферных вихрей, в основном тропических циклонов, приводит к возникновению эпидемий, огромный вред наносится и сельскохозяйственным угодьям.

*Шквалы* — это атмосферные вихри, возникающие в теплое время года на мощных атмосферных фронтах, но иногда и при особо интенсивной местной циркуляции. Их возникновение связано с развитием активной конвекции. Шквал — это вихрь с горизонтальной осью вращения. Скорость ветра в шквальной буре достигает 25 — 30 км/ч (рис. 6.7). Шквалы оказывают большое негативное экологическое воздействие часто с катастрофическими последствиями. 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 вихри с вертикальной осью вращения, имеющие скорость до 100 м/с, 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. Внутри воронки воздух поднимается, быстро вращаясь (рис. 6.8). Создается область сильно разреженного воздуха. Различные предметы, в том числе здания, взрываются изнутри из-за разности давлений. 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 1 500 торнадо с числом жертв в среднем около 100 человек. Смерчи относятся к быстродействующим катастрофическим атмосферным процессам (см. рис. 6.5). Они формируются всего за 20 — 30 мин, а время их существования 30 мин. Поэтому предсказать время и место возникновения смерчей практически невозможно.

К другим неблагоприятным атмосферным явлениям относятся интенсивные ливни и кратковременные дожди, грозы, градобитие,

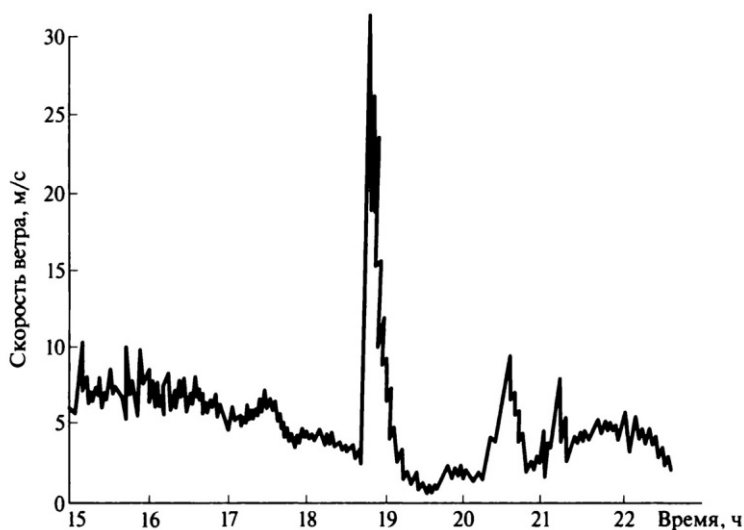


Рис. 6.7. Изменение скорости ветра при шквале

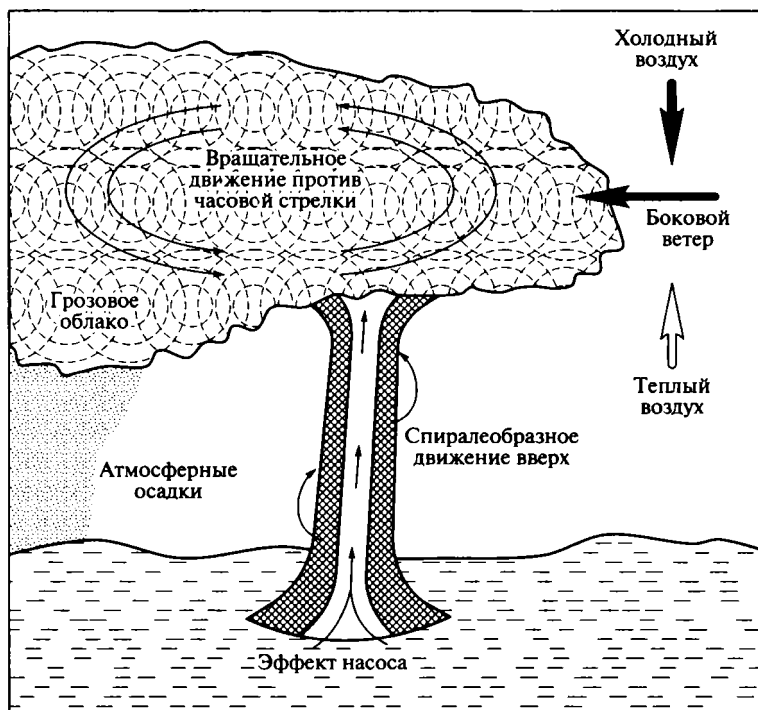


Рис. 6.8. Воронкообразный атмосферный вихрь — смерч

молнии и снегопады. Катастрофические последствия могут иметь засухи, пыльные и соляные бури, морозы.

**Интенсивные ливни.** Интенсивность дождя определяется количеством выпавших осадков и их продолжительностью. Наиболее интенсивные ливни характерны для тропиков Центральной Америки (до 20 — 25 мм/мин). Они охватывают небольшие территории (до 200 км<sup>2</sup>), непродолжительны (от 30 мин до 2 — 4 ч). Фронтальные ливневые дожди длятся от нескольких часов до 4 сут, с перерывами до двух—трех недель и охватывают территории площадью до сотен тысяч квадратных километров. При тропических циклонах интенсивность ливней нередко превышает 150 мм/сут (в некоторых случаях до 500 — 800 мм/сут). За 10 — 20 ч может выпасть вся годовая норма осадков. В умеренном климатическом поясе интенсивность ливней меньше. Экстремальные количества осадков сами по себе могут оказываться опасными для населения и хозяйства. Кроме того, они нередко возбуждают другие виды опасных явлений: наводнения, эрозию, сели и оползни в горах и т. п.

**Грозы.** Катастрофическим атмосферным явлением считаются *грозы*. Они возникают при очень быстром поднятии теплого влаж-

ного воздуха. На границе тропического и субтропического поясов грозы происходят по 90—100 дней в году, в умеренном поясе — по 10—30 дней. В России 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 7 кг. Наиболее градоопасные районы в России находятся на Северном Кавказе. Июле 1992 г. град повредил 18 самолетов в аэропорту «Минеральные Воды».

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 долл.

Снегопады. В зимнее время циклоны вызывают интенсивные снегопады и метели, которые парализуют работу транспорта, приводят к повреждению деревьев, ЛЭП, зданий, массовому сходу снежных лавин в горах и т. п. Быстрое таяние выпавшего снега может вызвать наводнение. При выпадении снега в обычно бесснежных районах или в теплое время года наносится значительный ущерб и сельскому хозяйству. Метели создают снегозаносы, также парализующие хозяйственную деятельность. В районах, где зимой устанавливается снежный покров, возможны стихийные бедствия, вызываемые снеговыми нагрузками, приводящими к повреждению крыш домов.

Засухи. 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.

**Пылевые и соляные бури.** Результатом деятельности атмосферных вихрей являются пылевые и соляные бури, которые могут возникнуть на периферии антициклонов. Для образования пылевых бурь необходим ветер, скорость которого не меньше 15 м/с. При такой скорости рыхлый почвенный слой поднимается в воздух, перенося мелкие частицы на сотни и даже тысячи километров. Пылевые бури наносят огромный ущерб сельскому хозяйству, способствуют выдуванию плодородного слоя почвы, образуют наносы, засыпают песком селения, выводят из строя приборы и любую технику. Для человека они опасны тем, что могут вызвать удушье. Действию пылевых бурь подвержено несколько областей Земли: страны Северной Африки, Аравийского полуострова, Поволжье, северные предгорья Кавказа, Средняя Азия, Украина. Пыль, поднятая бурей в центральной и западной Сахаре, может распространяться вплоть до Южной и Центральной Америки. Высыхание Аральского моря привело к возникновению песчано-соляных бурь. В Поволжье ветром переносятся частицы пыли и соли гипса, хлорида натрия, сульфата натрия и др.

**Морозы.** Экстремально низкие температуры воздуха устанавливаются обычно при зимнем антициклоне. Характер и размер ущерба зависят не столько от самих величин отклонений температур от средних значений, сколько от приспособленности населения и хозяйства к таким событиям. Например, в Индии в январе 1989 г. более 200 человек погибли от холода при температуре воздуха около 0 °С; в США в феврале 1989 г. при морозах до -40 °С погибло 230 человек. Экстремальные вторжения холодных воздушных масс, сопровождающиеся обычно снегопадами, могут быть кратковременными (до нескольких дней), но наносят значительный ущерб сельскому хозяйству в субтропическом поясе, а в весеннее время и в южной части умеренного пояса. В мире среднегодовой ущерб от экстремально низких температур и снегопадов занимает пятое место после ущерба от ураганов, наводнений, землетрясений и засух.

## 6.5. Антропогенные изменения атмосферы

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

В настоящее время имеется множество различных источников антропогенного характера, вызывающих загрязнение атмосферы и приводящих к серьезным нарушениям экологического равновесия (рис. 6.9). 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 (рис. 6.10).

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

Аэрозоли. Это 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, к второй — аэрозоли, являющиеся смесью газообразных и

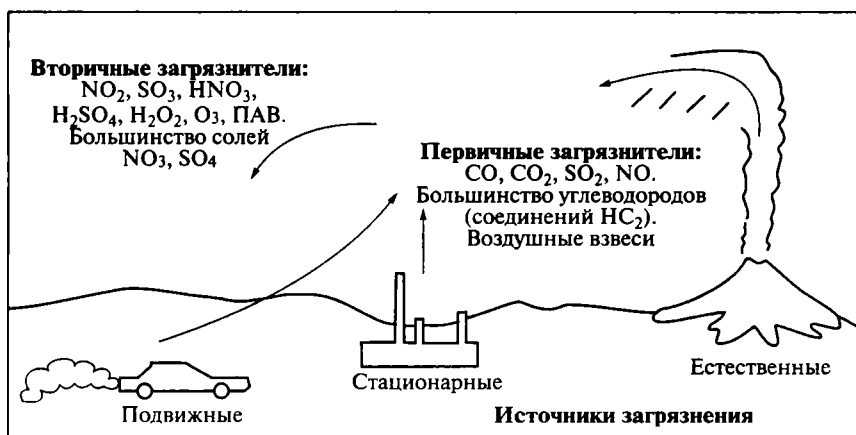
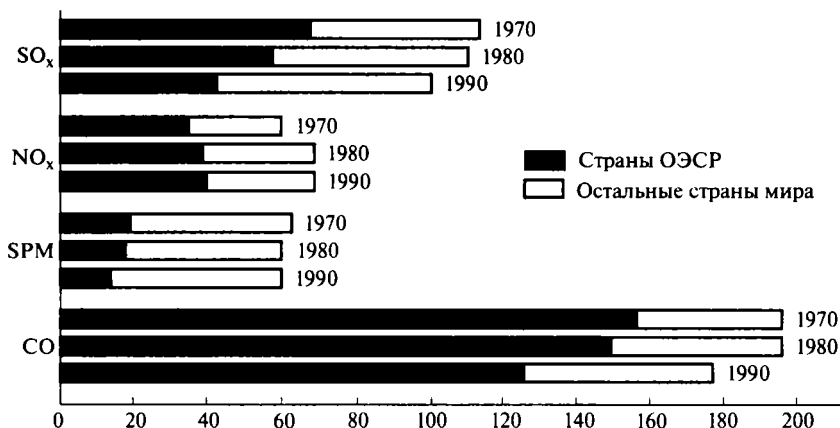


Рис. 6.9. Основные загрязнители атмосферы (по Т. Миллеру, 1993)



**Рис. 6.10. Выбросы в атмосферу (млн т/год) оксидов серы SO<sub>x</sub>, оксидов азота NO<sub>x</sub>, взвешенных частиц SPM и оксида углерода CO (Мат-лы конф. ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро (1992), по кн. Н. В. Чебышев, А. В. Филиппова, 2004)**

жидких фаз. Первые называют дымами, а вторые — туманами. В процессе их образования большую роль играют 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 4 000 м<sup>2</sup> 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, фторида водорода и азота. При соприкосновении с влажной поверхностью листа они образуют кислоты, губительно воздействующие на живые ткани. Кислотные туманы попадают 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 <sup>90</sup>Sr 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 размером 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.

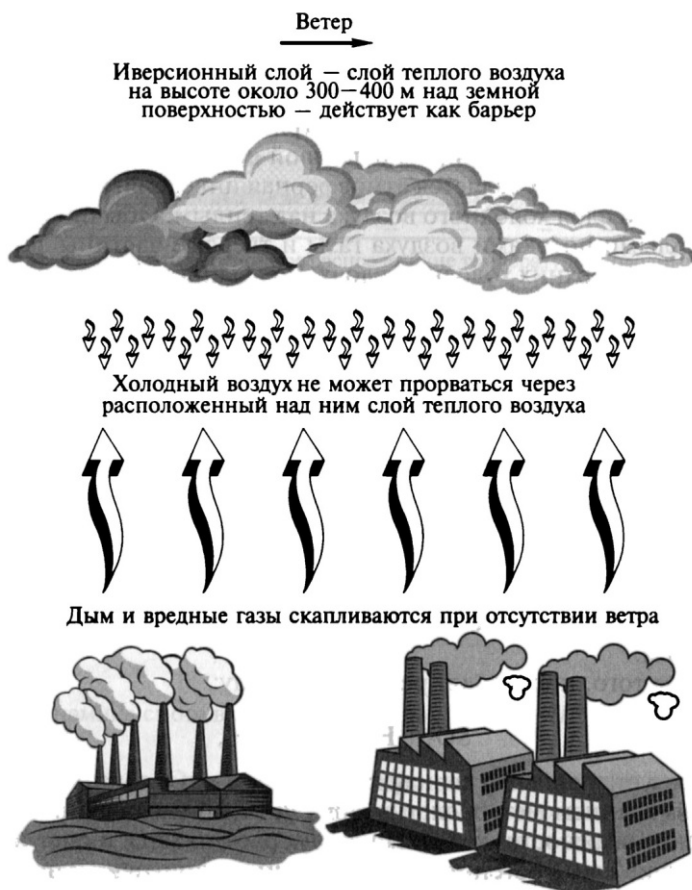
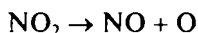


Рис. 6.11. Метеорологическая обстановка, благоприятствующая возникновению зимнего смога

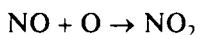
Различают три вида смога: ледяной, влажный и сухой. *Ледяной смог* назван аляскинским. Это сочетание газообразных загрязнителей с добавлением пылеватых частиц и кристалликов льда, возникающих при замерзании капель тумана и пара отопительных систем.

*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 воздуха располагается над приземным слоем холодного воздуха (ниже 700 м) (рис. 6.11). 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. 6.12). 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. 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 фотолиза диоксиды азота, образованные при сгорании топлива в двигателях автомобилей, распадаются с образованием атомарного кислорода:

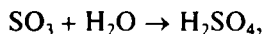


Затем происходит синтез озона (M — молекула N<sub>2</sub> или O<sub>2</sub>, поглощающая энергию):



Процессы фотодиссоциации сопровождаются желто-зеленым свечением.

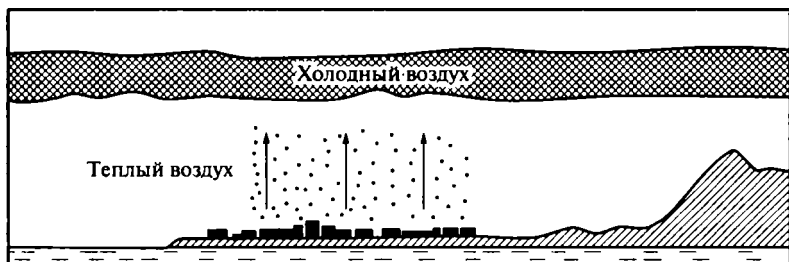
Кроме того, происходят реакции по типу:



т.е. образуется сильная серная кислота.

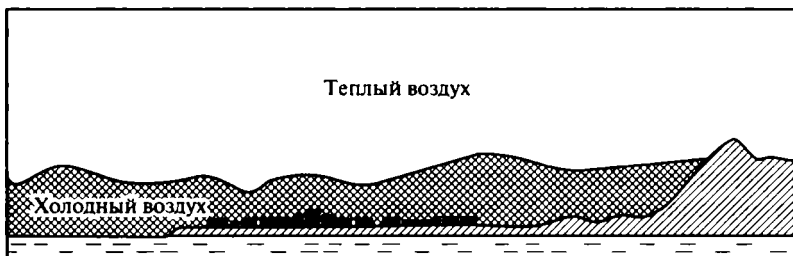
С изменением метеорологических условий (появление ветра или изменение влажности) холодный воздух рассеивается и смог исчезает.

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



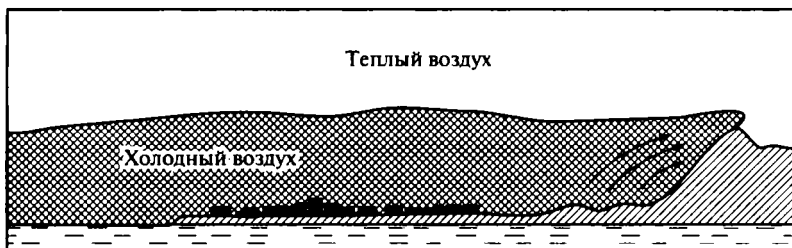
При нормальных условиях температура воздуха понижается с высотой. Теплый воздух поднимается вверх и рассеивает примеси, выбрасываемые у поверхности земли

I



Когда устанавливается инверсионное распределение температуры, холодный воздух располагается под теплым, который поступает с калифорнийских пустынь

II



При изменении метеорологических условий. Ветер вызывает смещение холодного воздуха и исчезновение смога

III

Рис. 6.12. Динамика смога в долине Лос-Анджелеса (/— ///)

Асидификация. Это природный процесс, вызванный антропогенной деятельностью и приводящий к повышению кислотной 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. Смит измерил кислотность атмосферных осадков и, обнаружив высокую концентрацию, назвал их кислотными дождями.

Кислотные дожди. Представляют собой атмосферные осадки, подкисленные растворенными в них промышленными выбросами оксидов серы, азота и паров хлорной кислоты и хлора (рис. 6.13). В процессе сжигания угля, нефти и газа большая часть находящейся в ней серы как в виде оксида, так в соединениях с железом (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 атмосферным кислородом и находящимися в нем парами воды образуются серная и азотная кислоты.

Известно, что щелочно-кислотный баланс среды определяется величиной pH. Нейтральная среда имеет величину pH, равную 7, кислая — 0, а щелочная — 14 (рис. 6.14). В современную эпоху величина pH дождевой воды составляет 5,6, хотя в недавнем прошлом она была нейтральной (pH 7). Уменьшение значения pH на единицу со-

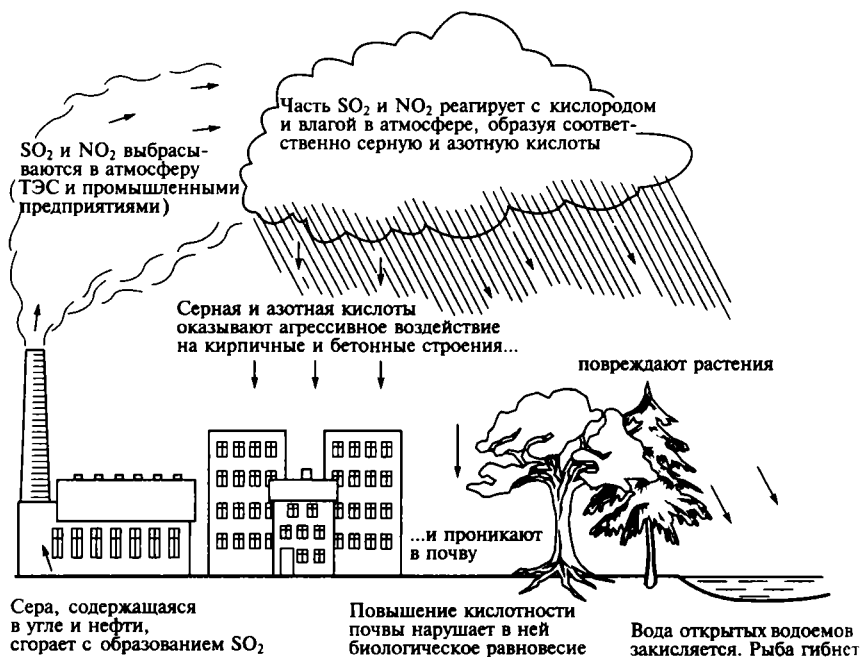


Рис. 6.13. Кислотные дожди: причины их возникновения и вредное влияние

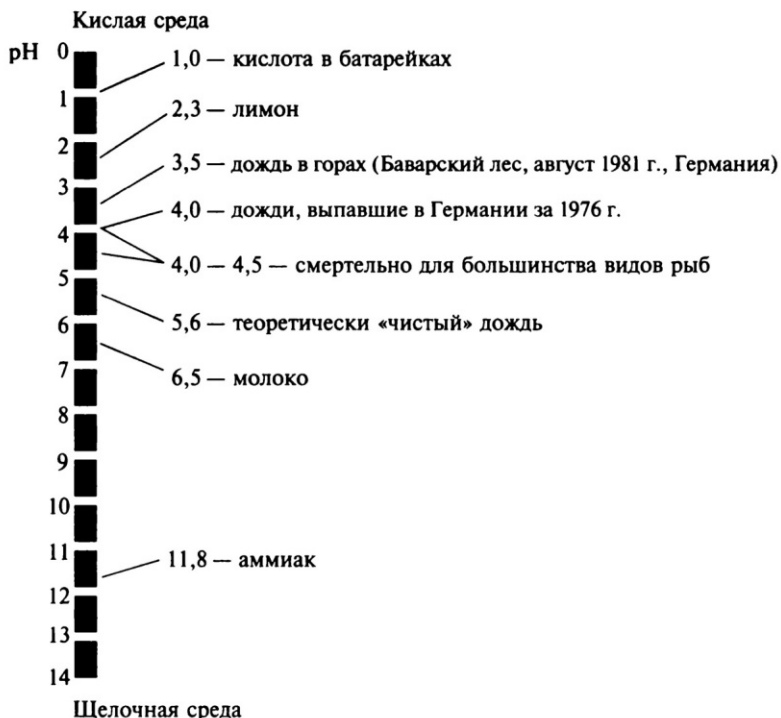


Рис. 6.14. Шкала значений щелочно-кислотного потенциала (рН)

ответствует десятикратному повышению кислотности и, следовательно, в настоящее время практически повсеместно выпадают дожди с повышенной кислотностью. Максимальная кислотность дождей, зарегистрированная в Западной Европе, составляла 4 — 3,5 рН. При этом надо учесть, что величина рН, равная 4 — 4,5, смертельна для большинства рыб.

Аэрозоли оксидов серы и азота, а также аммиак 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 общество продолжает использовать в качестве 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 превышает 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 проживает 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 выносятся, 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 %, а 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.

Кислотные дожди оказывают агрессивное воздействие на растительный покров Земли, на промышленные и жилые здания и способствуют существенному ускорению выветривания обнаженных горных пород. Кислотные дожди воздействуют на бетонные сооружения,

увеличивая скорость химического выветривания. Из-за кислотных осадков скорость коррозии в промышленных районах в 2 — 10 раз выше, чем в сельской местности. 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. Кислотность почв способствует освобождению находящихся в связанном состоянии тяжелых металлов. Если pH почвы становится меньше 4,3, то подвижность тяжелых металлов резко увеличивается и они 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.

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

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.

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 (длина волны 0,40...0,76 мкм) и инфракрасной (длина

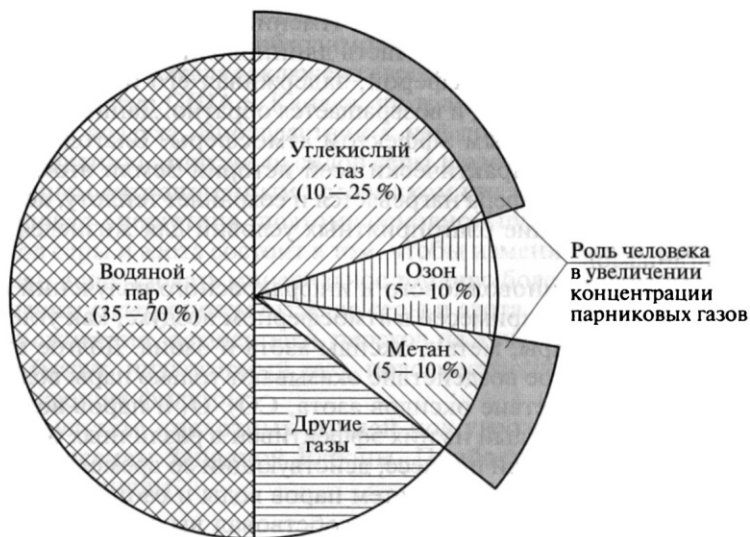
полны  $>0,76$  мкм) областях спектра. Именно за счет этих лучей нагревается земная поверхность. Часть длинноволнового земного излучения поглощается атмосферой, задерживая его поступление в космическое пространство, и возвращается обратно. Данный процесс и называется парниковым эффектом атмосферы. Благодаря действующему в течение практически всей истории Земли этому процессу приземная атмосфера 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,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$  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 (рис. 6.15). В настоящее время содержание  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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.

Природными источниками парниковых газов, поступающих в атмосферу в результате дегазации Земли, являются рифтовые зоны и



**Рис. 6.15. Соотношение парниковых газов в атмосфере и роль человека в увеличении их концентрации**

вулканы. Значительным источником метана, его еще называют болотным газом, служат болота и разлагающиеся органические остатки. Антропогенные газы появились в атмосфере лишь в эпоху тектогенеза, а природные газы существуют в атмосфере многие миллионы лет. Поэтому следует говорить о техногенном вкладе в развитие этого процесса, как наложенного на природную составляющую.

Нарушение озонового слоя и возникновение озоновых дыр. Толщина озонового слоя такова, 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 0,1 — 0,28 мкм и большую часть менее энергоемкой, но также опасной UVB радиации с длинами волн 0,28 — 0,315 мкм. Менее активная часть спектра ультрафиолетовой радиации (более длинноволновая часть UVB и вся UVA с длинами волн 0,315 — 0,4 мкм) озоном не поглощается 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 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.

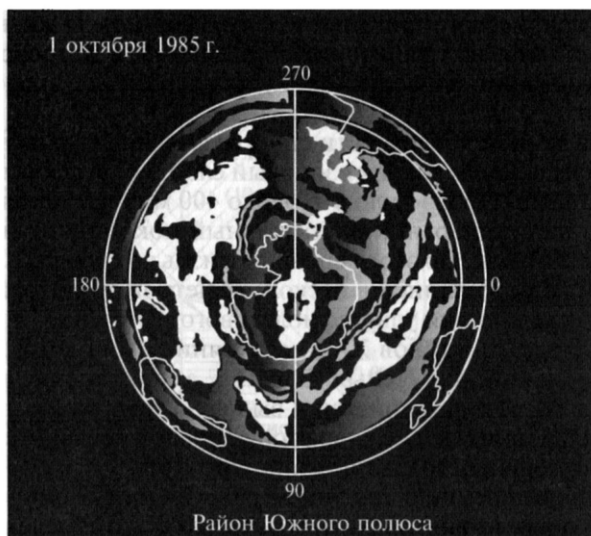
Еще в начале 70-х годов XX в. состояние озонового слоя стало вызывать беспокойство ученых. В 1974 г. американские геохимики Ф. Роуланд и М. Молина пришли к выводу о том, что возрастающее производство и применение хлорфторуглеродов неизбежно приведут к прогрессирующей деградации озонового слоя.

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 1985 г.

В ее пределах содержание озона оказалось на 40 % ниже, чем в среднем над всем континентом (рис. 6.16). Концентрацию озона часто определяют в единицах Добсона. Единица Добсона (ед. Д.) — это мера содержания озона, отвечающая условно толщине слоя озона в 0,001 см, приведенного к приземным условиям в средних широтах, где концентрация озона равна 345 ед. Д. 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 полушариях.

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.



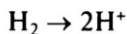
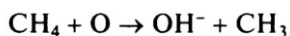
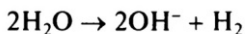
**Рис. 6.16.** Карта, демонстрирующая «дыру» в озоновом экране над Антарктидой в октябре 1985 г. (сделана со спутника). В 1987 г. размеры «дыры» увеличились

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

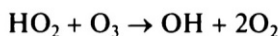
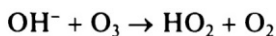


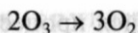
На высотах 20 — 40 км в результате такого химического процесса теряется около 20 % атмосферного озона.

Более существенные потери приходятся на долю водородного цикла — до 60 % озона на высотах 17 — 25 км. Потеря озона обуславливается его взаимодействием с радикалом ( $\text{OH}^-$ ). Образование гидроксида происходит при взаимодействии водорода, метана и воды с атомарным кислородом по следующей схеме:



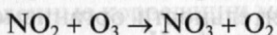
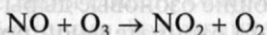
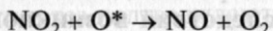
Сам водородный цикл может быть записан следующим образом:



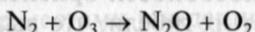


Подобные реакции имеют большие скорости и поэтому протекают весьма энергично, особенно на высотах 17 — 25 км.

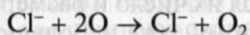
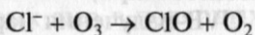
И начале 70-х годов XX в. для определения состояния озонового слоя в модельные расчеты исследователи ввели представления об азотном цикле, основанные на способности оксидов азота разрушать молекулу озона. Они раскрываются в следующих химических реакциях:



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 на рубеже XX — XXI вв. происходит глобальное сокращение содержания озона в стратосфере и тропосфере. Только с 60-х годов XX в. атмосфера Земли потеряла почти 15 % озона.

Ранее отмечалось, 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 — 45% 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:

- 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;
- 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;
- 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 появляются патологические изменения и происходит массовая гибель отдельных сообществ и целых популяций;
- 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 (фотоэласто́за), 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 следующие группы: метеорологическую, биогенную, техногенную и эндогенную.

Метеорологическая группа гипотез связывает образование озоновых дыр с естественными процессами формирования озоновой зоны. 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 с 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.

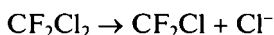
В январе 1996 г. над Европейской Арктикой установились и долгое время держались крайне низкие температуры. В это время полярные стратосферные облака возникали по краям воронки, что вызвало разрушение озонового слоя на большой площади. Утонение озонового слоя наблюдалось над Скандинавией, северной частью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

Биогенная группа гипотез основывается на увеличении образования метана, который является озоноразрушающим газом при антропогенной деятельности. Так, значительное количество метана образуется при возделывании рисовых полей, увеличении поголовья скота. Нельзя забывать и о природных источниках метана, таких как болота, где он образуется в процессе гниения и преобразования органических остатков без доступа кислорода. А это особенно актуально в связи с потеплением климата и увеличением количества болот.

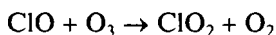
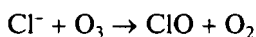
Техногенная группа гипотез основывается на роли в разрушении озонового слоя техногенных хлор- и фторсодержащих газов — фреонов, которые используют в холодильной промышлен-

ности и в качестве распыляющих веществ в аэрозольных упаковках. Фреоны представляют собой хлорсоставляющие соединения метана, этана и пропана с обязательным содержанием фтора ( $\text{CFC1}_3$ ,  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{CF}_3\text{Cl}$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$  и др.)

Американские ученые М. Молина и Ф. Роулэнд, открывшие хлорный 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 их фотолиз:



Свободный хлор вызывает галоидный цикл разложения озона по следующим реакциям:



В 1987 г. это предположение было подтверждено прямыми замерами 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 к данному направлению 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 фреон не может 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 1 100 — 2 600 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 ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ) 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. И ее основе лежат представления о водородном 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 дегазации 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 противоречит принятой и настоящее время концепции о железном ядре.

Существование газовых потоков водорода и азота с примесью гелия и углеводов 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 хребта, в Красноморском рифте, в желобе Тонга и других местах Атлантического, Индийского и Тихого океанов. Эндогенные флюидные потоки зафиксированы в кимберлитовых трубках Удачная, Юбилейная, Мир. В некоторых из них дебит газовой струи достигает 1 200 л/с. В ней на долю водорода приходится 50 — 60 %, а метана — 40 — 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 Капельиниш). Важно, что над всеми перечисленными районами периодически появляются озоновые

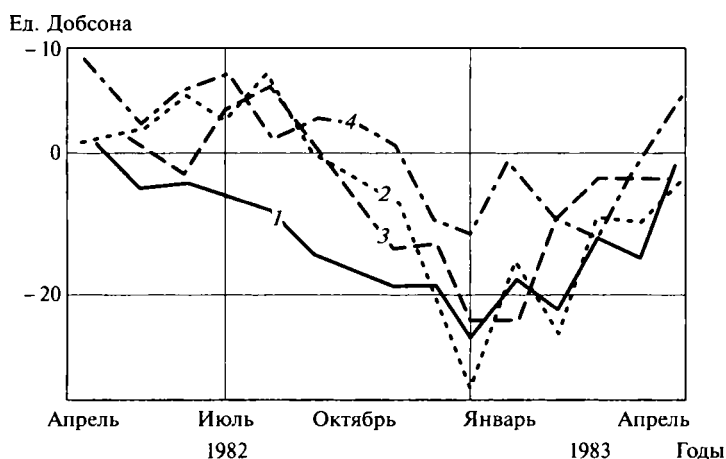


Рис. 6.17. Изменение содержания озона после извержения вулкана Эль-Чичон (по Л. В. Сывороткину, 1996):

1 — Гавайские острова; 2 — Восточная Азия; 3 — Северо-Западная Европа; 4 — Бразилия

дыры. Наблюдается снижение концентрации озона в стратосфере после извержения вулканов Сент-Хелен (1980), Эль-Чичон (1982) и др. (рис. 6.17).

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 выбрасывать 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. 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 XX\ 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. Убедительным примером служит показатель изменения строения и функционирования экосистемы любого ранга и производимая ею первичная продукция в зависимости от заданного изменения или колебания температуры приземной части воздуха, влажности и количества выпадающих атмосферных осадков. Приспособляемость зависит от заложенных в систему возможностей изменять от наступающих климатических изменений режим работы, скорость и 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°C, 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 благоприятные 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 изъятию из атмосферы углекислого газа.

Изменение уровня океана в первую очередь зависит от гидрометеорологических факторов, напрямую влияющих на испаряемость и количество атмосферных осадков, а также от дополнительного притока вод, возникающих при таянии покровных и горных ледников, и стока вод с континентальных пространств. Кроме гидрометеорологических факторов на уровень Мирового океана оказывают влияние тектонический фактор, определяющий форму и объем ложа Мирового океана, и экзогенные факторы, в частности геоморфологические процессы, к которым относятся аккумуляция наносов в устьях рек, эстуариях, лиманах и заливах или эрозия берегов. Наблюдаемый за последнее столетие рост уровня океана до 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 видоизменит 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 влаж-



ности почвы, что приведет к относительно небольшим видоизменениям стока, особенно в аридных районах. В отдельных случаях при увеличении среднегодовой температуры на 1— 2 °С 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. Вероятность распространения вредителей и болезней растений увеличится.

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.

## 6.8. 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 геоэкологической 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. биосферную мембранную систему, что существующая природная поглотительная емкость атмосферы исчерпана, а естественные природные резервуары — Мировой океан, наземная гидросфера и педосфера — оказались неспособными принять новые дополнительные порции этих веществ.

На постепенно возрастающее накопление парниковых газов в результате хозяйственной деятельности человека наложилось крупное пятно 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 селитебных и пригородных экосистем. Атмосферный воздух во всех больших городах из-за высокого содержания вредных веществ и смога настолько загрязнен, что ежедневное 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 сокращения 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, хими-

ческой и цементной промышленности, нефте- и газопереработки, транспорт (кроме транспорта, работающего на электрической тяге). Иногда в атмосфере из относительно безопасных веществ может образоваться пестицид — трихлоруксусная кислота (ТХК), которая затем поглощается растениями (рис. 6.18). Повышенное содержание ТХК обнаружено в листьях деревьев в различных регионах мира. Согласно существующим данным, в 150 городах России объем выбросов транспорта превышал объем выбросов промышленных предприятий. В Москве вследствие вывода некоторых предприятий 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.

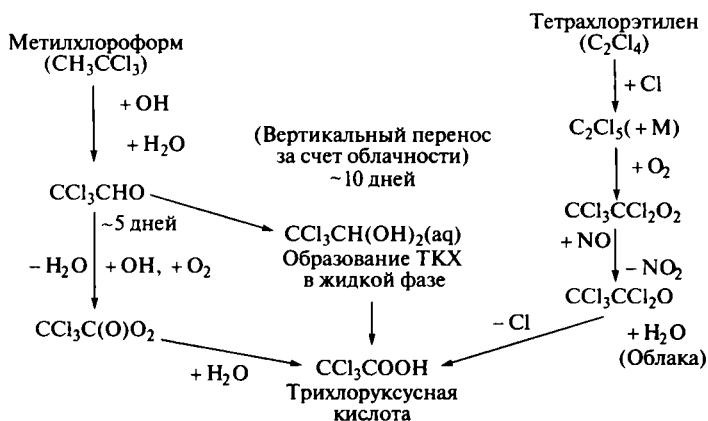


Рис. 6.18. Циклы, ведущие к образованию трихлоруксусной кислоты в естественной среде

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. Норильск 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 во всех населенных пунктах 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 сухих 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, загряз-

няющего 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: в воздухе рабочей зоны ( $\text{ПДК}_\text{рз}$ ) и в атмосферном воздухе населенного пункта ( $\text{ПДК}_\text{ав}$ ).

$\text{ПДК}_\text{ав}$  — 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).

## 6.9. 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 про-

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 земные 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 и 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 целостного 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, годо-*

вые и т.д.) закономерности в распределении озона. С времени своего возникновения атмосфера влияет 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.* История атмосферы / М. И. Будыко, А. Б. Ронов, Л. Л. Яншин. — М., 1988.
- Кан С. Н.* Океаны и атмосфера. — М., 1982.
- Мизун Ю. Г.* Озонные дыры: мифы и реальность. — М., 1993.
- Никитин Е. Д.* Планетарно-геологическая роль и экологические функции земной атмосферы / Е. Д. Никитин, Н. А. Ясаманов // Жизнь Земли. — М., 2001.
- Протасов В. Ф.* Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. — М., 1999.
- 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.

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 (рис. 7.1). 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. 7.2.

В Мировом океане содержится 94,96 % общего объема гидросферы. Эта огромнейшая масса воды, состоящая из двух слоев — верхнего, относительно теплого, и основного, холодного с температурами 4°C 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 неоднозначную роль в терморегуляции планеты.

Основная масса воды на Земле — соленая, на ее долю приходится 97,5 %. На долю пресной воды остается только 2,5 %. На суше основная масса воды сосредоточена в подземных водах, что составляет 4,12 % всех запасов, а в ледниках законсервировано 1,65 % вод Земли. Благодаря своей высокой отражательной способности (альбедо) лед



Рис. 7.1. Распределение вод на Земле

ники являются одним из важнейших современных климатообразующих факторов.

Реки — важнейший компонент гидросферы, характеризующийся высокой скоростью водообмена. Суммарный запас воды в реках Земли составляет всего 0,0001 % общих запасов воды. 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* (рис. 7.3). Он служит основой единства географической оболочки и играет важнейшую роль в об-

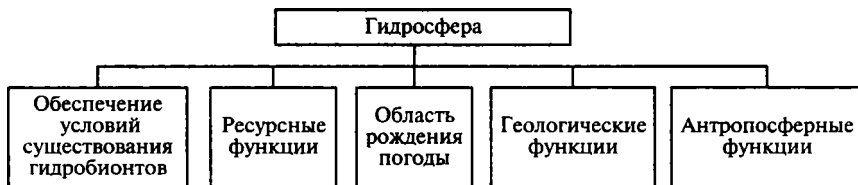
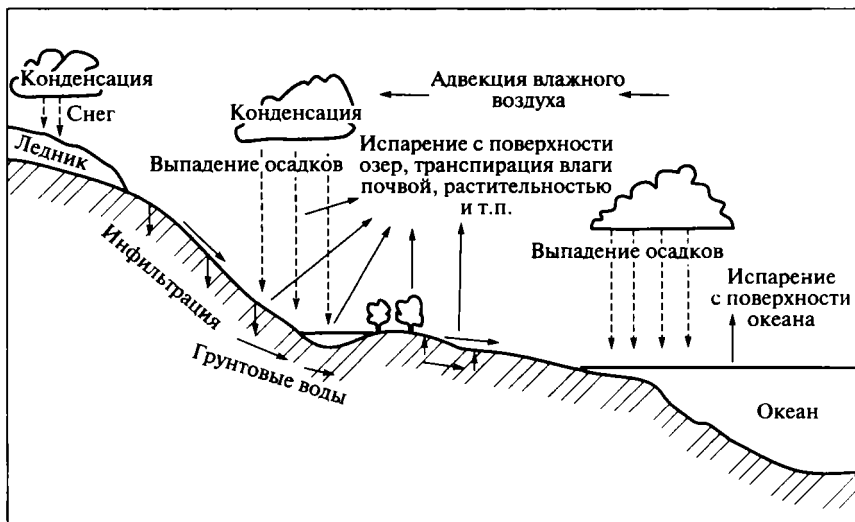


Рис. 7.2. Экологические функции гидросферы



**Рис. 7.3. Глобальный круговорот воды**

мене веществом и энергией. Под воздействием солнечной энергии вода испаряется с поверхности морей, океанов и поверхностных водоемов 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 суши 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 кон-

це XVIII в. Под этим понятием подразумевается совокупность океанов — 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 км<sup>2</sup>, 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 <sub>3</sub> .....	0,557
MgCl <sub>2</sub> .....	14,445	KBr.....	0,278
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	11,359	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> .....	0,075
CaCl <sub>2</sub> .....	3,196	SrCl <sub>2</sub> .....	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 горькосолёные озера (Эльтон, Баскунчак и др.).

В океанской воде растворены газы: N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S 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 полужамкнутых 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 химические 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. 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:

<b>Саргассово море.....</b>	<b>66,5</b>	<b>Черное море.....</b>	<b>28,0</b>
<b>Средиземное море.....</b>	<b>60,0</b>	<b>Балтийское море.....</b>	<b>13,0</b>
<b>Тихий океан.....</b>	<b>59,0</b>	<b>Белое море.....</b>	<b>8,0</b>
<b>Индийский океан и Красное море.....</b>	<b>50,0</b>		

**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. Выше него находится сезонный термоклин. Перепад температур в нем в период максимального нагревания достигает 10— 15 °С. Под сезонным термоклинном 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 неодинакова. Это зависит не только от температурных условий в приповерхностной части, но и от гидродинамики и солёности 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 температуры меняется плотность океанской воды. Ее средняя плотность в поверхностных областях составляет 1,02 г/см<sup>3</sup>. 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 нестационарные 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 1 000 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 высокие 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 кПа (15 т/м<sup>2</sup>). 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. 7.4. 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; батиальную — до глубины 3 000 м; абиссальную — с глубинами от 3 000 до 6 000 м и гипабиссальную — более 6 000 м. Основными элементами рельефа дна Миро-

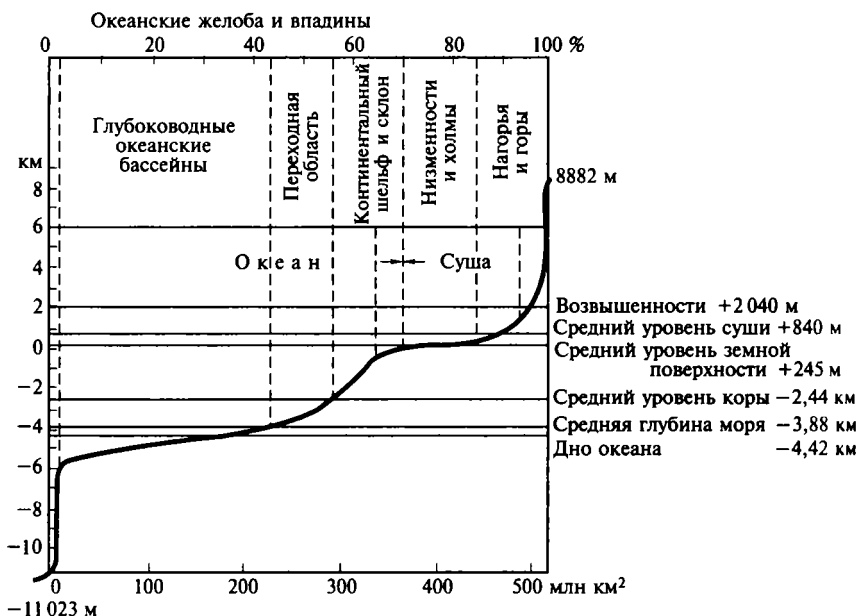


Рис. 7.4. Гипсографическая кривая поверхности земной коры

вого 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 Бенгальском заливе, вдоль побережий Мери, 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.

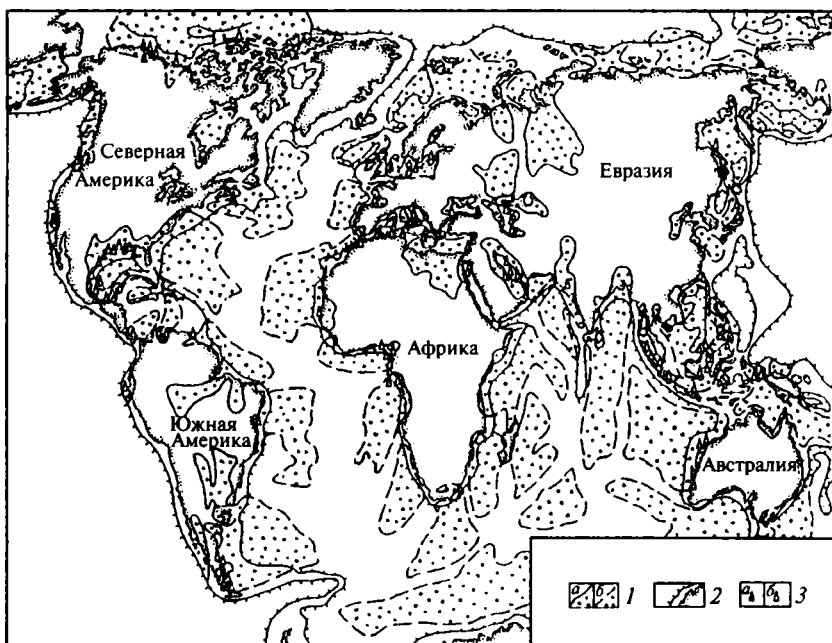
В сравнительно небольшом объеме используется *бентос*. Среди зообентоса хозяйственной ценностью обладают некоторые виды двусторчатых моллюсков (мидии, устрицы, гребешки). Широко используются ракообразные (крабы, омары, лангусты) и иглокожие (морские ежи). Из фитобентоса практическое применение находят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

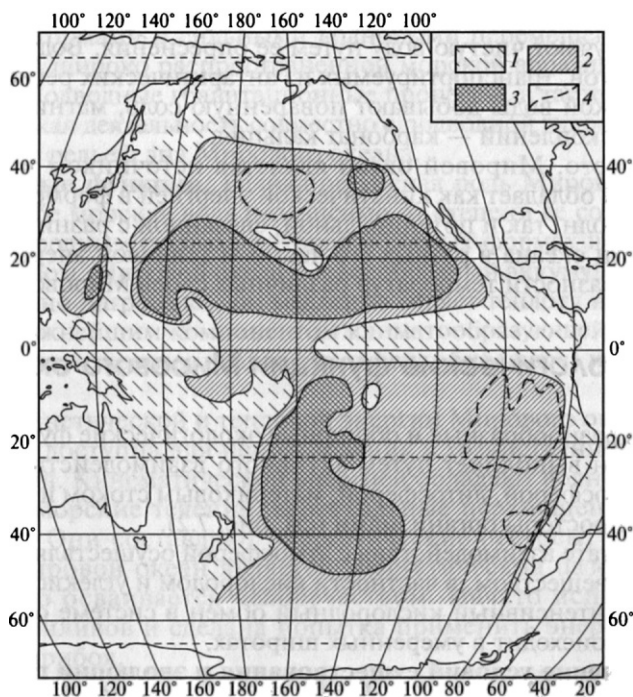
**Минеральные ресурсы Мирового океана.** Эти ресурсы представлены различными полезными ископаемыми и подразделяются на потенциальные и выявленные. К числу минеральных ресурсов относятся:



**Рис. 7.5. 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)

- нефть и газ, которые приурочены к обширным шельфам и континентальному склону (рис. 7.5);
- 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. 7.6). 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



**Рис. 7.6. 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

образования 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—1 500 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 п. 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, 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 (см. рис. 7.2).

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.

Обеспечение условий существования и эволюции гидробионтов. 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 воздей-

ствия 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 4 500 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.

**Геологические функции.** 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.

**Ресурсные функции.** 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 и настоящее время экономически оправдана. К ним относятся рыбы, морские беспозвоночные (двустворчатые, 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.

Область рождения погоды и экстремальных явлений. 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.

Антропоферные функции. 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-отливными 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 км<sup>2</sup> (ежегодная скорость отступления составила 0,9 км<sup>2</sup>).

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 судоходность. 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 и море в определенных точках, а затем самими волнами транспортировались вдоль берега, накапливаясь и постепенно превращаясь и 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 связы-

валось 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, и свою очередь, вызвало осушение залива, изменило процессы образования уникальных месторождений самоосадочных солей, привело к дефляции высушенной солевой поверхности и разному 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 1 000 км/ч. При таких параметрах цунами разрушают береговые сооружения и приводят к большим человеческим жертвам. Особенно часто действию 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 короткопериодические (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, фа-



диентными, 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

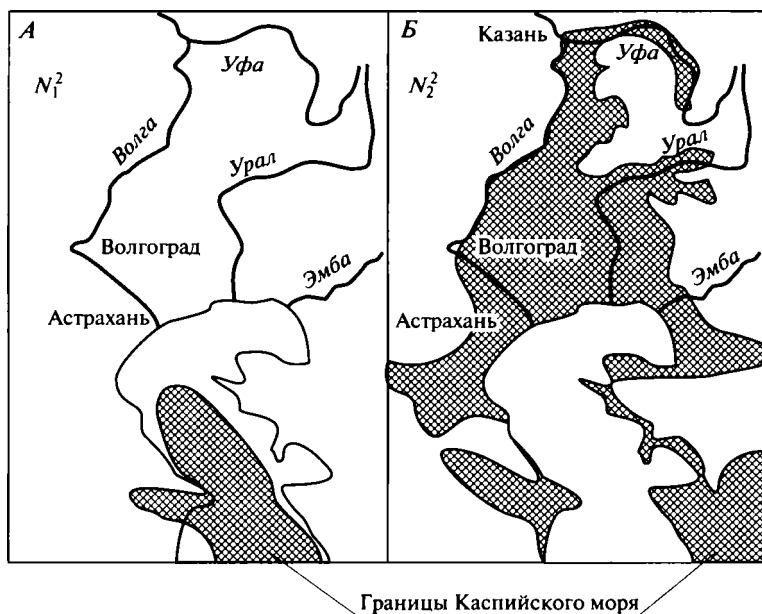


Рис. 7.7. Границы Каспийского моря в балаханскую (А) и акчагыльскую (Б) эпохи (по Е. М. Щербаковой)

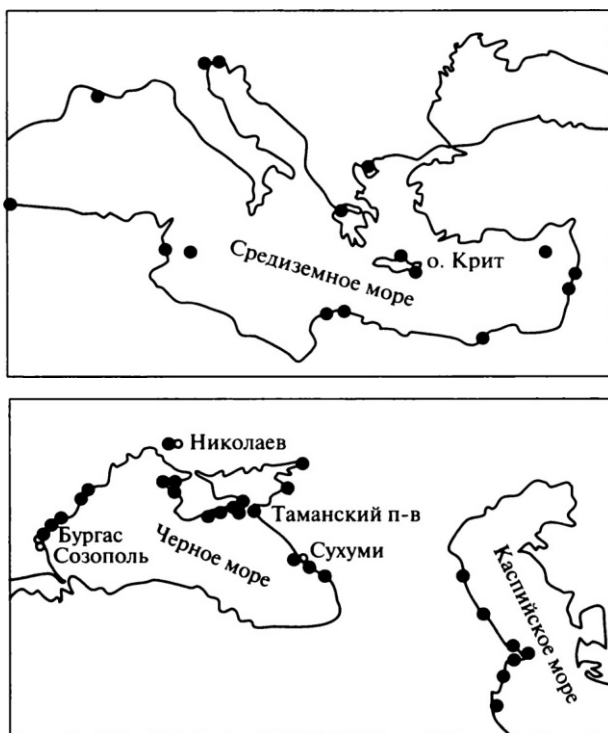


Рис. 7.8. Схема частично или полностью затопленных городов (античных и средневековых)

установлены в результате палеогеографических реконструкций. На геологическом материале выявляют глобальные трансгрессии (наступление) и регрессии (отступление) морей и океанов (рис. 7.7). 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 затоплены, 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 (рис. 7.8). В Сухумской бухте затоплены постройки греческой колонии Диоскурии, на дне у берегов Таманского полуострова в Крыму находят греческие амфоры, а у северного побережья Азовско-

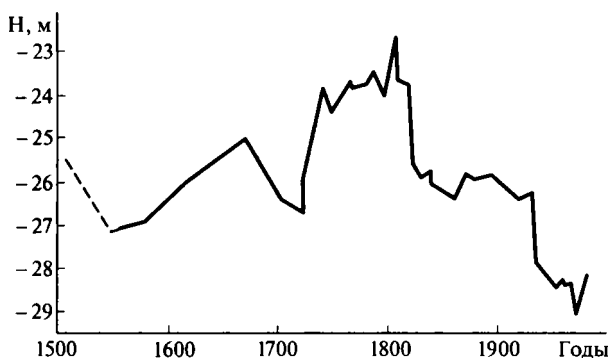


**Рис. 7.9.** Колебания уровня океана в плейстоцене и положение средиземноморских террас относительно современного уровня

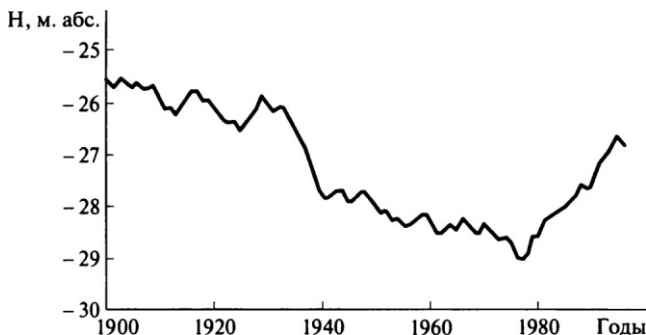
го моря обнаружены затопленные скифские курганы. Признаки погружения берегов выражены на западном побережье Черного моря. Здесь под водой обнаружены римские постройки, сооруженные около 3 тыс. лет до н.э., а также стоянки ранненеолитового человека. Все эти погружения связаны с послеледниковым подъемом уровня моря в результате энергичного таяния ледниковых покровов.

Особенно хорошо зафиксированы подъемы и опускания уровня моря при изучении террас Средиземноморья (рис. 7.9).

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 на побережье Ка-



**Рис. 7.10.** Вековые изменения уровня Каспийского моря (по С. Я. Бергу)



**Рис. 7.11. Многолетние изменения (1900— 1997 гг.) средних годовых уровней воды в Каспийском море в районе Махачкалы (по В. Н. Михайлову и Е.С. Поваляшниковой, 1998)**

спийского моря, уровень которого повышается (рис. 7.10, 7.11). В некоторых случаях трансгрессии на ограниченных территориях вызваны хозяйственной деятельностью 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 пищевых и минеральных ресурсов, а в-третьих, в качестве хранилища 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. 7.12). 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 экономическая зона шириной 200 миль, 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

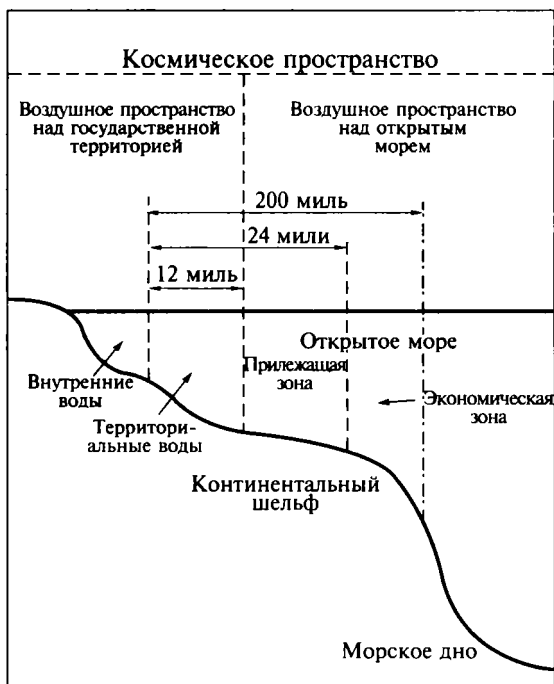


Рис. 7.12. Экономические зоны Мирового океана

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. м<sup>3</sup> твердых отходов, 10 тыс. т химикатов (солей, фосфатов и ядовитых веществ) (М. К. Бахтеев, 1997).

В Мировом океане осуществляется гигантский по своим масштабам процесс биоизвлечения, биоаккумуляции и биоседimentации 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 состоянию (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 км<sup>2</sup>. 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. 7.13).

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 международ-

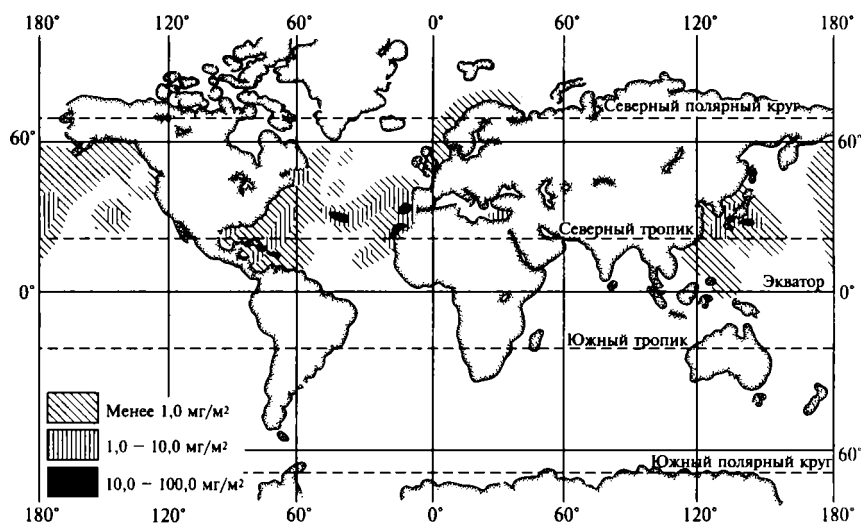


Рис. 7.13. Концентрация нефтяных соединений на поверхности Мирового океана

ным 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 Мороруа.

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

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. 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 первичных склонов, размывают овраги, превращая их в маленькие долины. Наибольшая эрозия происходит на склонах, лишенных растительности.

Основные гидрологические характеристики некоторых 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. Брахмапутра. 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 возникающие небольшие островки и осередки смещаются на расстояние 1,5—1,7 км. За паводок, по данным А. А. Чистякова (1978), в русле р. Брахмапутра 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 1 000 м — формируются при максимуме половодья и при его спаде. На широкой пойме при паводке возникают разливы, охватывающие площадь до 200 км<sup>2</sup>, глубиной 3 — 4 м. Из-за отсутствия течения в спокойных условиях аккумулируются 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 увеличе-

Таблица 7.1. Основные гидрологические характеристики некоторых рек России

Река	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Длина реки, км	Среднегодовой сток, км <sup>3</sup>	Среднегодовой расход, м <sup>3</sup>	Сток маловодного года, км <sup>3</sup>	Водообеспеченность на 1 км <sup>2</sup> , тыс. м <sup>3</sup> /год	Водообеспеченность, тыс. м <sup>3</sup> на 1 чел.
<i>Балтийское море</i>							
Нева	189	750	83	2 630	57,1	417,7	117
Западная Двина	88	1 020	20,3	640	116	2 069	202
<i>Белое море</i>							
Северная Двина	362,6	750	112	3 540	58	2 258	462
<i>Баренцево море</i>							
Печора	322	1 814	127	4 020	99	4 037	1 793
<i>Азовское море</i>							
Дон	422	1 870	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	2 540	7,8	250	3,3	33,4	62
Волга	1 360	3 694	238	7 960	182,0	1 775,0	4

кинутое 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.** Это 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 3 812 м над уровнем моря), а самое низкое залегание имеет Мертвое море на Аравийском полуострове (395 м ниже уровня моря). Самым глубоким озером является Байкал (1 741 м).

Озерные котловины созданы эндогенными, экзогенными и техногенными факторами. Среди эндогенных озер выделяются группы вулканогенных, сейсмогенных и тектонических. В вулканогенную

**Таблица 7.2. Гидрологические характеристики озер России**

Озеро	Площадь, км <sup>2</sup>	Средняя глубина, м	Наибольшая глубина, м	Объем воды, км <sup>3</sup>	Поверхностный приток, км <sup>3</sup> /год
Каспийское море	395 000	190	1 025	76 040	266,4
Байкал	31 500	730	1 741	23 000	60,1
Ладожское	17 700	51	230	908	74,8
Онежское	9 720	29	127	285	19,9
Таймыр	4 560	2,8	26	13	0,3
Ханка	4 150	4	10,6	18,5	2

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 обвальнo-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 Рида 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 (русловых и пойменных), дефляционных, гляциальных (экстракционные, термокарсты, гляциально-плотинные) и биогенных котловин.

Болота. Представляют собой избыточно увлажненные участки земной поверхности, заросшие влаголюбивой растительностью. Общая площадь болот на поверхности Земли составляет 2 млн км<sup>2</sup>. 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 затапливаются 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. 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 км<sup>2</sup>, или 11 % территории суши, а общий объем льда в них равен 30 млн км<sup>3</sup>.

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

Река	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Длина реки, км	Среднегодовой сток, км <sup>3</sup>	Среднегодовой сток, км <sup>3</sup>	Среднегодовой сток, км <sup>3</sup>	Сток маловодного года, км <sup>3</sup>	Водообеспеченность на 1 км <sup>2</sup> , тыс. м <sup>3</sup> /год	Водообеспеченность, тыс. м <sup>3</sup> на 1 чел.
<i>Карское море</i>								
Енисей (с Ангарой)	2 540	3 844	585	18 600	528	244,2		221,5
Обь (с Иртышом)	2 470	3 676	401	12 809	282	178,6		54,4
<i>Море Лаптевых</i>								
Лена	2 472	4 337	489	15 500	424	209,2		445,7
<i>Восточно-Сибирское море</i>								
Реки побережья	1 097	—	255	8 090	204	232,2		952,5
<i>Берингово море</i>								
Реки побережья	472,3	—	312	9 950	249	660,6		2331,8
<i>Охотское море</i>								
Амур	1 855	2 825	403	12 830	209	185		88,7
<i>Японское море</i>								
Реки побережья	130,3	—	37,4	1 190	29,2	287,1		21,7

нием 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. Брахмапутра.

Высокая мутность характерна для рек Хуанхэ (1,6 млрд т, 35 г/л), Ганг (1,45 млрд 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) и др.

Уникальной мутностью обладает р. Хуанхэ, несмотря на то что по водности она уступает рекам Инд, Брахмапутра, Конго и особенно Амазонка. 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. км<sup>2</sup>, ее длина составляет 5 464 км. Дельта Хуанхэ имеет площадь 10 тыс. км<sup>2</sup> и увеличивается со скоростью несколько десятков метров в год. Дренаживание р. Хуанхэ в районе Лёссового плато (1 200—1 500 м), густо заселенного, сильно распаханного, плотно покрытого оврагами и крутопадающей эрозийной 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 Лёссового 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 7 000 лет это происходило 1 600 раз и приводило к обширным наводнениям.

Самым грандиозным и катастрофическим было наводнение, случившееся в 1887 г. Была затоплена территория площадью 78 тыс. км<sup>2</sup>. 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 по-

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

Снежный покров. Вследствие обложного или ливневого выпадения снега образуется снежный покров. 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. Эти 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 м<sup>3</sup> 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.** Представляют собой 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 км<sup>3</sup>. 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 регулируется речной сток. Основные характеристики наиболее крупных водохранилищ России приведены в табл. 7.3.

Водохранилища классифицируют по разным принципам. По условиям аккумуляции воды принято выделять: водохранилища в долинах рек, перегороденных 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.

**Таблица 7.3. Основные характеристики наиболее крупных водохранилищ России**

Водохранилище	Река	Год заполнения	Площадь, км <sup>2</sup>	Объем, млн м <sup>3</sup>	
				полный	полезный
Братское	Ангара	1967	5 470	169 300	48 200
Красноярское	Енисей	1969	2 000	773 300	30 400
Зейское	Зея	1983	2 419	68 400	32 120
Усть-Илимское	Ангара	1974	1 873	59 400	2 770
Волжское	Волга	1959	6 448	58 000	34 600
Хантайское	Хантайка	1969	2 120	25 000	17 300
Волгоградское	Волга	1961	3 117	31 450	8 250
Рыбинское	Молога, Шексна	1949	4 550	25 420	16 670
Цимлянское	Дон	1953	2 702	23 860	11 540



Наибольшее количество водохранилищ, расположенных на равнинных территориях, создано в России. Самым большим по площади равнинным водохранилищем является водохранилище Вольта (Гана, Африка) — 8 450 км<sup>2</sup>; в России наиболее крупное — Волжское (Самарское) — 5 900 км<sup>2</sup>. Самые емкие водохранилища — Кариба (175 км<sup>3</sup>) на р. Замбези и Братское на р. Ангара (170 км<sup>3</sup>).

В аридных областях с поверхности водохранилищ ежегодно испаряется слой влаги до 2 м.

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.;
- 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, обезвоживание и осушодоливание 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; золотый материал; антропогенные сбросы.

Установлено, что при наличии каскада водохранилищ наибольшую роль в заиливании играют продукты разрушения берегов и мелководий.

Скорость заиливания относительно небольшого Иваньковского водохранилища (площадь водосбора 1,12 км<sup>2</sup>) равна 0,7 % в год, а между тем Рыбинское водохранилище, которое почти в 25 раз больше (25,4 км<sup>2</sup>) и образовано в озерной котловине, только за 25 лет потеряло всего 1 % объема и, таким образом, средняя скорость заиливания его составляет всего 0,04 %.

Хорошо изучены процессы заиливания верхневолжских водохранилищ: Иваньковского, Угличского, Рыбинского. Например, в Иваньковском 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 осаждение 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, отлагая 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, лимнообразия, заболачивание озер и экзарация. С гидросферой суши связан и целый ряд катастрофических природных явлений — наводнения, сходы селевых потоков и лавин (см. рис. 6.5).

Формирование овражно-балочной сети. Оврагами называют крутостенные 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 км<sup>2</sup>. 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, заливанию 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 русла 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 русла способствует меандрирование. В вершине каждой излучины русло постоянно смещается в сторону вогнутого берега, размываемого в результате боковой эрозии. На перемещение русла оказывают влияние геологическое строение берегов и состав горных пород, современные тектонические движения, направление ветров, объем воды и т.д.

Смещение русла происходит и в результате дробления (фуркация) его на отдельные рукава. Это очень характерно для горных рек, когда они выходят в предгорья, и для дельт крупных рек (рис. 7.14).

Смещение русла 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

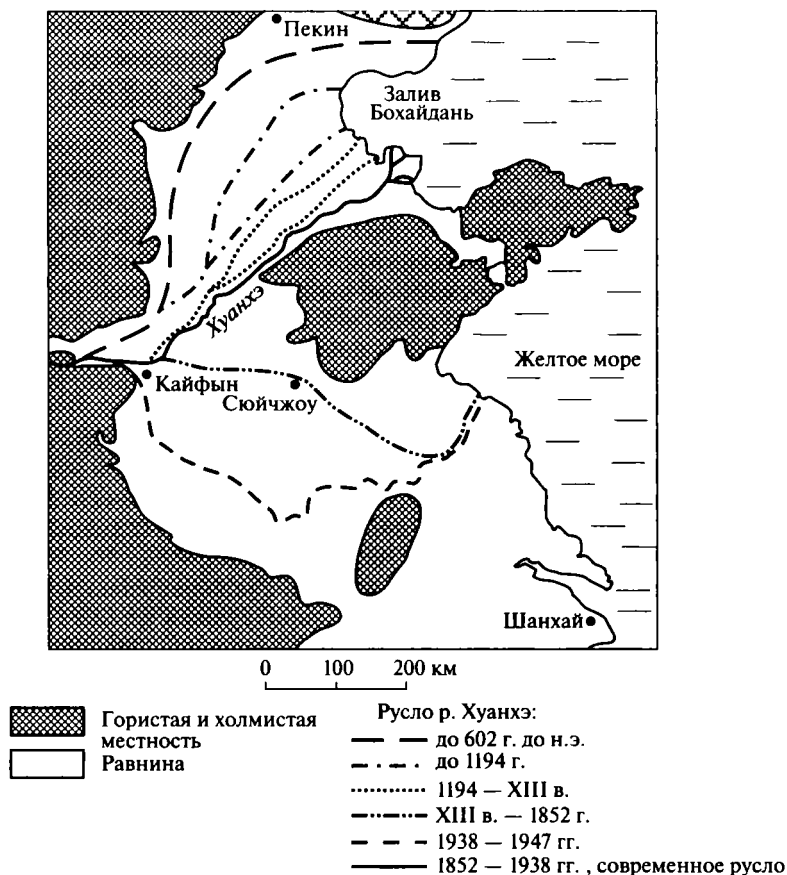


Рис. 7.14. Блуждание р. Хуанхэ в историческое время (по Д. Л. Арманду, из кн. С. П. Горшкова, 2001, упрощенно)

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 (рис. 7.15). 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. км<sup>2</sup>, были разрушены 7,2 млн жилищ, погибли 2 379 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.

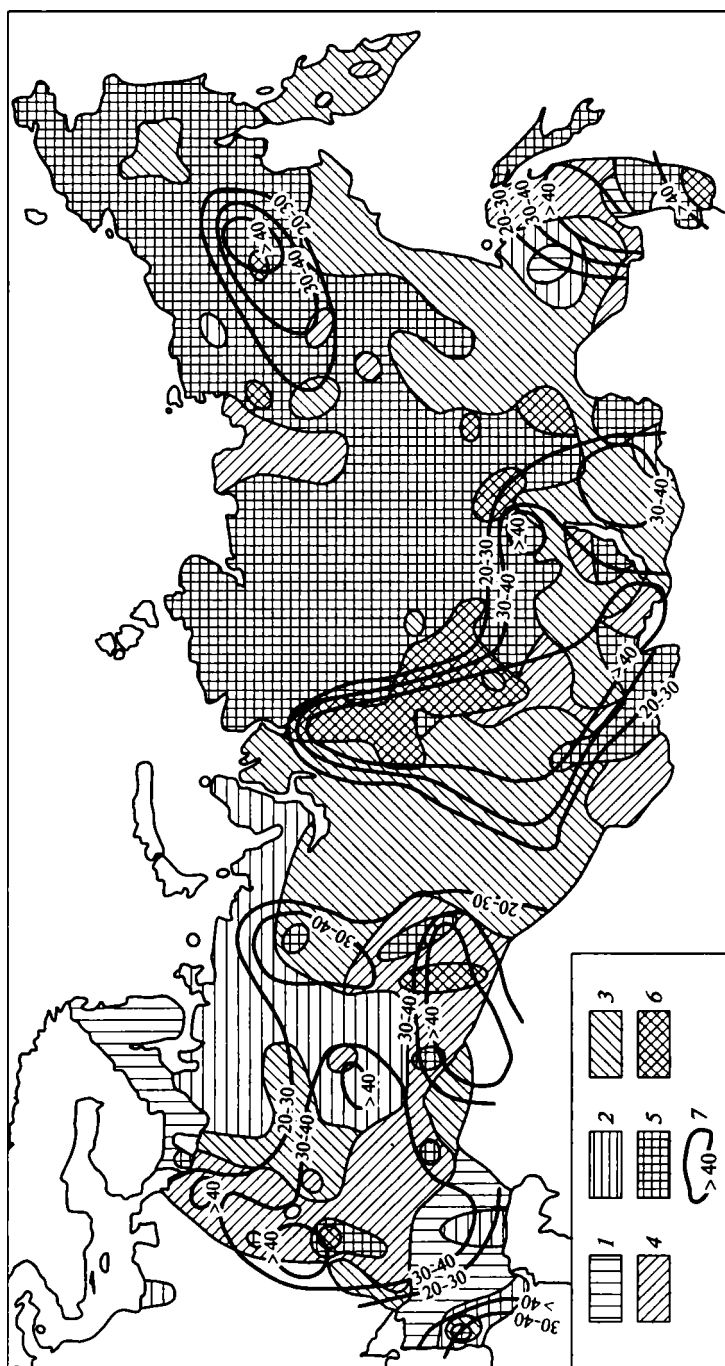
Ущерб причиняется прежде всего самой водой, которая затопляет земли, хозяйственные сооружения, здания, дороги, посевы. Высокая скорость большой массы воды сносит мосты, разрушает береговые сооружения, а влекомые ею обломки представляют прямую угрозу жизни людей.

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, транспорту, инженерным сооружениям и подземным коммуникациям.

Согласно статистическим данным, наибольшее число жертв от 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 2 000 — 3 000 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 м. 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.



**Рис. 7.15. Карта районирования территории России по опасности развития наводнений (Природные опасности России. Гидрометеорологические опасности, 2001):**

1 — районы с максимальными превышениями уровней начала затоплений на 0,3 м (незначительно опасные); 2 — районы с максимальными превышениями уровней начала затопления на 0,3—0,7 м (малоопасные); 3 — районы с максимальными превышениями уровней начала затопления на 0,8—1,4 м (умеренно опасные); 4 — районы с максимальными превышениями уровней начала затопления на 1,5—2,0 м (опасные); 5 — районы с максимальными превышениями уровней начала затопления на 2,1—3,2 м (весьма опасные); 6 — районы, где максимальные уровни более чем на 1,3 м превышают уровни начала затопления прибрежных территорий (чрезвычайно опасные); 7 — линии равных вероятностей (в %) превышения уровней начала затопления прибрежных территорий

**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.	Рapid-Сити, Юж. Дакота	215	10 млрд долл.
9 октября 1963 г.	Беллуно, Италия	Свыше 2 000	Перелив воды через плотину Вайонт
4 октября 1955 г.	Пакистан, Индия	1 700	63 млн долл.
1 августа 1954 г.	Область Казвин, Иран	Свыше 2 000	—
31 января — 1 февраля 1953 г.	Северная Европа	Свыше 2 000	Опустошены прибрежные районы
28 августа 1951 г.	Маньчжурия	Свыше 5 000	—
1911 г.	р. Янцзы, Китай	100 000	—
1887 г.	Хэнань, Китай	Свыше 900 000	Уничтожены населенные пункты (разлив р. Желтая)
1642 г.	Китай	300 000	—



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 размера, 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). Поддействием ледников образуются кары, ледниковые цирки и ледниковые долины — трог. Кары представляют собой креслообразные углубления с крутыми, порой отвесными стенками и вогнутым дном. При разрастании кары 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 пологовыгнутое дно и крутые склоны, выгнываемые льдом. Профиль трогов изменчив. Наряду с пологими участками 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 снося до 1 млн м<sup>3</sup> снега.

Среди лавин по типу состояния снега выделяют: сухой метельный снег, старый влажный снег, мокрый фирновый снег; по морфологии пути: снежные осы — снежные оползни, при которых происходит отрыв и скольжение снежных масс по всей поверхности ровного склона, при лотковых лавинах течение и перекатывание снежных масс происходит по строго фиксированному

руслу, при прыгающих лавинах наблюдается свободное падение снежных масс при наличии отвесных стен на их пути; по морфологии лавиносбора: эрозионный врез, денудационную воронку, деформированный кар.

Сход лавин происходит в результате перегрузки склона снежной массой в результате обильных снегопадов или нарушения сцепления между смежными 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 м<sup>2</sup>, усиливается воздушной волной, перемещающейся впереди фронта движущейся лавины.

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

Возникновению лавиноопасных склонов способствуют вырубка лесов и выемка грунтов. Другими факторами лавинообразования служат соотношение крутизны и мощности снега, структура снега, температурный режим внутри снежной толщи (температурный градиент), микрорельеф подстилающей поверхности, землетрясения. Движение лавин начинается на склонах с крутизной более 22°, при крутизне склонов более 60° лавины не формируются.

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 (рис. 7.16).

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.

Таблица 7.5. Классификация лавинной опасности

Лавины	Потенциальный эффект	Превышение лавиносбора, м	Объем лавин, м <sup>3</sup>	Давление лавин, т/м <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>	10 — 10 <sup>2</sup>	0,1
Средняя лавина	Ломает молодые деревья, деревянные здания, переворачивает машины	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> — 10 <sup>4</sup>	1,0
Большая лавина	Валит старый лес, разрушает каменные сооружения и металлические конструкции	10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup> — 10 <sup>6</sup>	10
Гигантская лавина	Выпахивает русло, разрушает железобетонные сооружения	10 <sup>3</sup> — 5 · 10 <sup>3</sup>	10 <sup>7</sup>	100

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

Существуют специальные службы, ведущие борьбу с лавинами. При *пассивной защите* ведется наблюдение за лавиноопасными участками и предупреждение населения о возможном сходе лавины, составляются карты прогноза лавинной опасности, организуются специальные лавинные станции и создаются спасательные отряды. При *активной защите* проводится искусственное обрушение лавин (сброс минометным огнем, подпиливание снежных карнизов), предупреждение снегонакопления в лавиносборах и соскальзывания снега со склонов, изменение пути движения лавин, пропуск лавин над защищаемыми объектами и др.

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

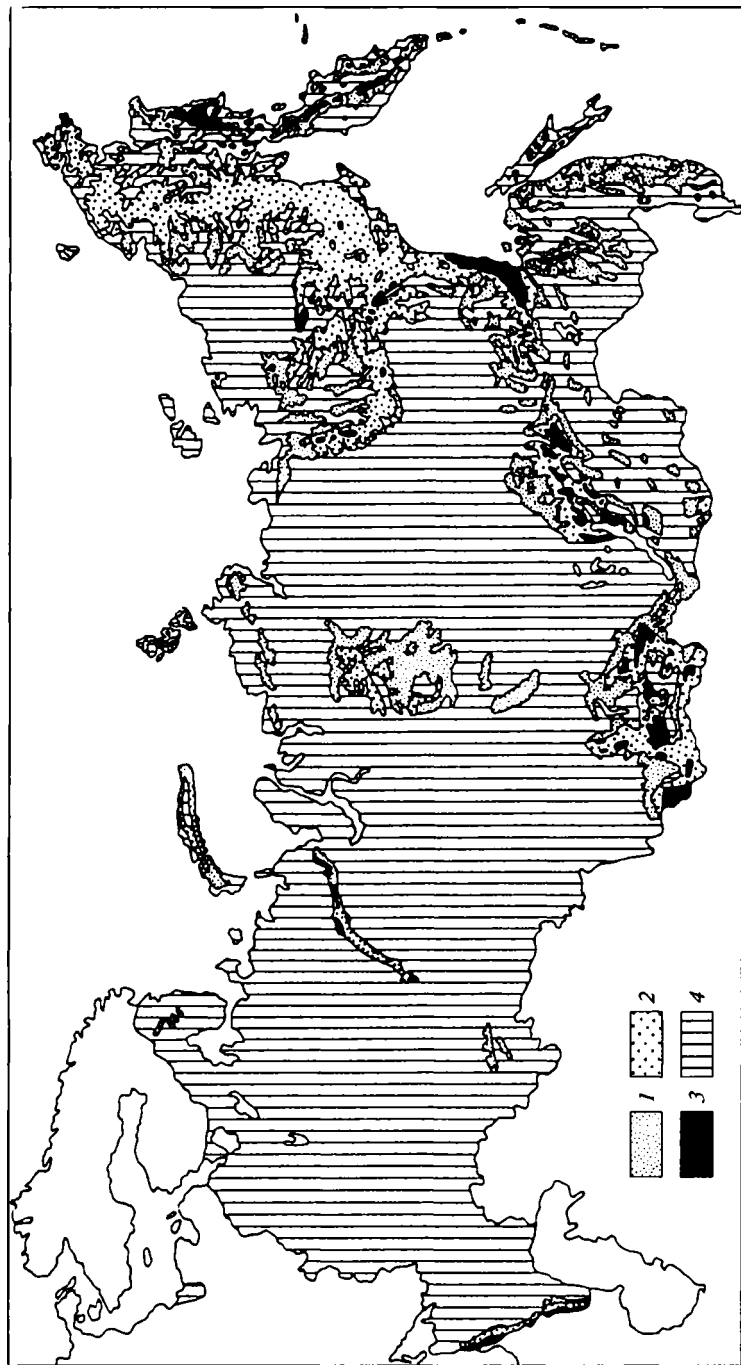


Рис. 7.16. Карта лавинной опасности России (по Е. С. Трошиной, Т. Г. Глазовской из кн. Экологическая геодинамика, 2008):

1 — низкая; 2 — средняя; 3 — высокая; 4 — нелавиноопасные районы

твердого материала (не менее 100 — 150 кг на 1 м<sup>3</sup>) 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-Аты, а в 1946 г. — г. Ереван. Атакам селевых потоков периодически подвергаются города Душанбе, Бишкек, Тбилиси. В России сели развиты на Кольском полуострове, Урале, на севере Сибири, в Саянах, Прибайкалье, на Камчатке, в предгорных и горных районах Северного Кавказа (рис. 7.17).

Экологические последствия селевых потоков зависят от их мощности. Катастрофические последствия имеют сели объемом более 1 млн м<sup>3</sup>. 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. и г. Кобе (Япония). Спустившись к подножию гор, где располагался город, сель вызвал гибель 460 человек и разрушил 100 тыс. домов. В 1970 г. в Перу под грязекаменной массой селя был погребен г. Юнгай с 20 тыс. 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 селя различна: от нескольких десятков минут до нескольких часов. Обычно сели проходят в течение 1 — 3 ч волнами по 10 — 30 мин.

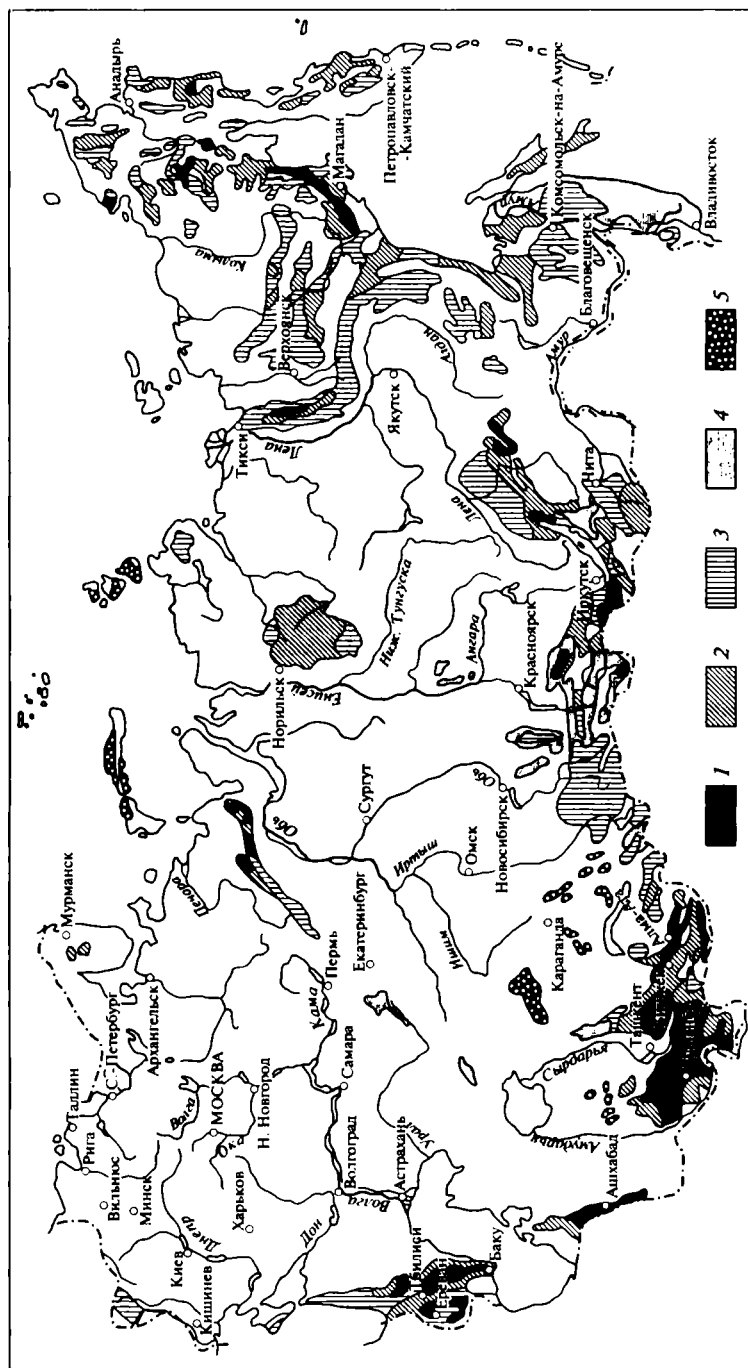
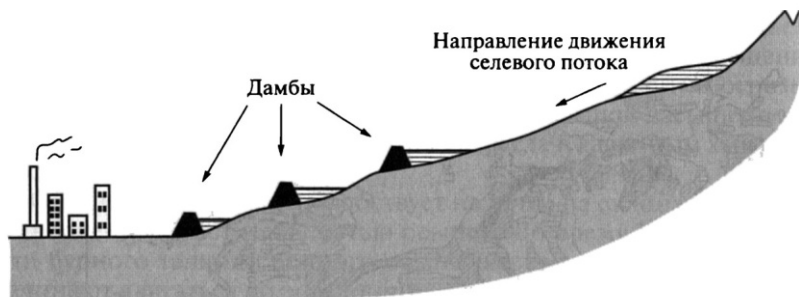


Рис. 7.17. Селеопасные районы (по Н. А. Алексееву, 1988).

Степень селеопасности: 1 — значительная; 2 — средняя; 3 — слабая; 4 — потенциальная; 5 — селеподобные потоки аридной зоны и окраин лесных шитов



**Рис. 7.18. Борьба с селевыми потоками путем строительства дамб поперек долины, по которой движутся селевые потоки**

Возникновению селей способствует вырубка леса, выпас скота, отвалы породы при добыче руд в долинах рек и др. Для защиты от селей строят специальные плотины, каскады запруд, лотки и селедуки (рис. 7.18).

## **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 пони-

жением 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 Амударья и Сырдарья, расходуемого на орошение, стал снижаться. В Аральское море ежегодно поступало 55 км<sup>3</sup> воды. С 60-х годов XX в. увеличиваются посевные площади хлопчатника, что требует большего количества воды на орошение, которую забирают из рек Амударья и Сырдарья. В результате с 1980 г. воды этих рек не достигают Аральского моря, уменьшается объем воды и ее уровень начинает понижаться. При этом увеличивается соленость моря до 35 ‰. В результате на бывшем дне образовалась соляная пустыня, а прилегающие территории из-за соляных бурь получают в год более 500 кг солей на гектар. Из-за увеличения солености моря гибнет рыба. Увеличивается и соленость воды в низовьях рек до 1,5 — 2 г/л (иногда и до 3 г/л).

Другой пример подобного рода — строительство в верховьях р. Или в конце 60-х годов XX в. Капчагайского водохранилища недалеко от г. Алма-Аты. Это привело к резкому снижению уровня озера Балхаш и к почти полной утрате его экономического значения. В настоящее время наблюдается обмеление многих рек, в том числе снижение 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 (рис. 7.19).

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 (рис. 7.20). 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, сельскохозяйственные площади) приходится около 50 % загрязняющих веществ, коммунальной сферы — 35 % и промышленности — 10—15 %.

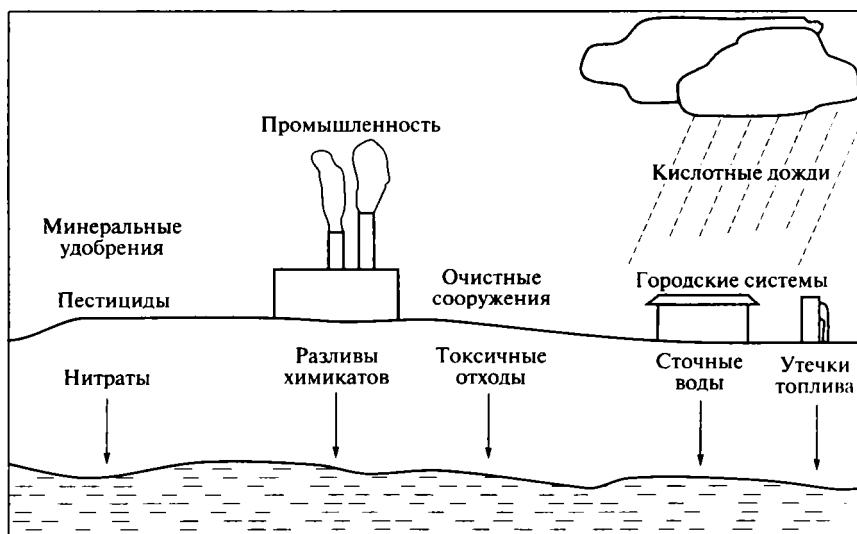


Рис. 7.19. Источники загрязнения поверхностных и подземных вод



**Рис. 7.20. Распределение отраслей промышленности по производимым сбросам загрязняющих сточных вод (по В.Ф. Протасову, 1999)**

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 — глинной и боковой эрозии, изменению твердого стока и объема взве-

шенного 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 постоянно находятся под действием гравитационных и тектонических сил напряженности. Под влиянием толщи воды наполняемого водохранилища, а также ежегодно накапливаемого 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 Гувер и заполнения водохранилища начались сейсмические толчки. Только за десять лет произошло более тысячи слабых толчков. Лишь однажды, спустя четыре 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 м<sup>3</sup>. В 1967 г. произошло 8 — 9-балльное землетрясение, в результате которого погибли 180 человек и еще 2 тыс. 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.

**Истощение 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,  $\text{м}^3/\text{сут}$ , составляет:

Целлюлозно-бумажная, энергетическая и металлургическая промышленность.....	15000 — 80000
Химическая, нефтехимическая, горнообогатительная промышленность.....	5 000— 15 000
Машиностроительная промышленность, трубопрокатные заводы.....	500 — 5 000
Текстильная, легкая, стройматериалов, пищевая промышленность.....	50 — 500
Мукомольные заводы, зерноприемные пункты.....	менее 50

Крупные города сбрасывают в местные водотоки аномально 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 км<sup>3</sup>. Из этого количества в реки ежегодно сбрасывается примерно 30 км<sup>3</sup> загрязненных сточных вод, требующих 10—12-кратного разбавления, а для некоторых веществ — 50 — 200-кратного.

Исходя из видов загрязняющих агентов можно выделить: *механическое* (загрязнение твердыми частицами); *химическое*, которое подразделяется на загрязнение органическими (ПХБ, пестициды, нефть и нефтепродукты, ПАУ, детергенты и др.) и неорганическими (хлориды, тяжелые металлы, минерализация) веществами; *биологическое* (патогены, биогенные вещества); *физическое* (термическое, радиоактивное, шумовое, электромагнитное и др.) загрязнения.

**Механическое загрязнение. Загрязнение твердыми частицами.** В реки, протекающие через крупные города, попадает обычно такое же количество загрязнителей, которое поступает с 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 ее 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 дна 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.

**Химическое загрязнение.** Загрязняющими веществами при данном типе загрязнения могут выступать как неорганические, так и органические соединения.

*Загрязнение полихлорвиниловыми бифенилами.* Распространено загрязнение речных вод полихлорированными бифенилами (ПХБ), которые используют в трансформаторах, конденсаторах и некоторых приборах и механизмах. Электротехническая промышленность производит примерно 1 млн т ПХБ. В США ПХБ обнаружены практически во всех реках, их наличие зафиксировано и 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. ПХБ обнаружены в рыбе, яйцах, птице, материнском молоке. В 1968 г. в Японии произошла утечка ПХБ. Эти вещества попали в рисовое масло, используемое для корма животных. В результате погибло 100 тыс. кур, у 1 000 чел. были обнаружены различные заболевания, в том числе болезнь ЮШО (потемнение пигментов кожи) и поражение внутренних органов.

К этой же группе загрязнителей относится диоксин ПХДД (полихлорированный дибензодиоксин). Время распада в почве этого элемента составляет 10 — 20 лет, а в организме человека — несколько месяцев. Он может накапливаться в пищевых цепях. Образуется при производстве, обработке и сжигании любых хлорированных углеводородов, бытового мусора. Диоксин вызывает врожденные аномалии у новорожденных, а повышенные концентрации вызывают болезнь хлоракине — продолжительные гнойные процессы и поражение внутренних органов.

*Загрязнение пестицидами.* Различают пестициды как органические, так и неорганические. К хлорорганическим пестицидам относится ДДТ (дихлордифенил трихлорметилметан). Это вещество способно передаваться по пищевым цепям (содержание в частях на 1 млн частей):

Вода.....	0,00005
Планктон.....	0,04
Щука (хищная рыба).....	1,33
Цапли (питается мелкими животными).....	3,57
Крохаль (утка, питается мелкой рыбой).....	22,4
Баклан (питается крупной рыбой).....	26,4

Фосфорорганические пестициды (дихлофос, карбофос) — токсичны для человека.

*Загрязнение нефтью и нефтепродуктами.* 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.

В мировую акваторию поступает 2,8 млрд т нефти. На водной поверхности 1 т нефти образует пленку площадью 12 км<sup>2</sup>, которая затрудняет процессы фотосинтеза. Содержание нефти в воде в количестве 0,2 — 0,4 мг/л дает запах, который не исчезает даже при хлорировании. Для восстановления пораженных экосистем необходимо 10—15 лет. Загрязнение полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ) возможно также при производства алюминия, кокса, чугуна, стали, газификации угля и др.

**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 цвета, усиление способности к пенообразованию; 2) нарушение кислородного режима; наличие детергентов 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 хлоридами.** Практически повсеместно в реках, протекающих через крупные города, отмечается повышенное содержание хлоридов (NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub>). Причина этого — широкое применение этих солей в городах и поселках для ускорения таяния снега. Повышенное содержание хлоридов отмечается практически во всех речных бассейнах, дренирующих шоссеиные дороги федерального и регионального масштабов.

**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 > Си > 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 (табл. 7.6).

Тяжелые металлы, переходя из воды в биоту, концентрируются в ней все больше и больше при движении по трофической пирамиде.

**Таблица 7.6. Содержание металлов в водорослях сухой массы, мкг/г**

Элемент	Приморский край	Атлантика
Fe	22 — 258	2 400
Vn	2 — 175	3 700
Cu	2 — 9	300
Zn	20 — 915	3 700
Pb	0,5 — 23	136
Cd	0,4 — 8	31

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 Ниигата 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. Официально признано, что органической ртутью было отравлено 12 615 человек, 1 246 из которых умерли.

Тяжелые металлы накапливаются как в водном потоке, так и в донных отложениях. Часто в пределах русла реки выделяется несколько участков, отличающихся повышенным уровнем техногенного загрязнения. Непосредственно ниже города река характеризуется накоплением техногенных илов и высоким уровнем техногенного загрязнения, которое может проследиваться на многие десятки километров, а иногда и до 100—150 км ниже города (рис. 7.21). Распределение химических элементов в водном потоке ниже промышленной зоны не синхронно, пики концентраций не совпадают по времени, частоте появления и длительности существования (рис. 7.22).

Тяжелые металлы и некоторые микроэлементы, находящиеся в повышенных количествах в питьевой воде, влияют на здоровье людей (табл. 7.7).

*Минерализация вод.* Этот процесс означает увеличение в водах содержания растворенных веществ. Общая минерализация определяется в граммах солей на литр воды. Пресными считаются воды, содержащие солей не более 0,2 — 0,5 г/л. Естественная концентрация



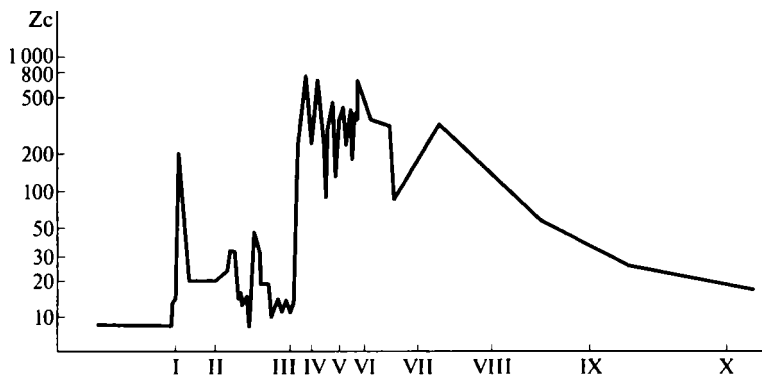


Рис. 7.21. Распределение значений суммарного показателя загрязнения  $Z_c$  к отложениям Инсара в зоне влияния г. Саранска, слой 20 — 60 см (I — X — опорные участки отбора проб; створ III — ниже руч. Никитинского, дренирующего промышленную зону; створ V — ниже городских очистных сооружений) (по Е. П. Янину, 2002)

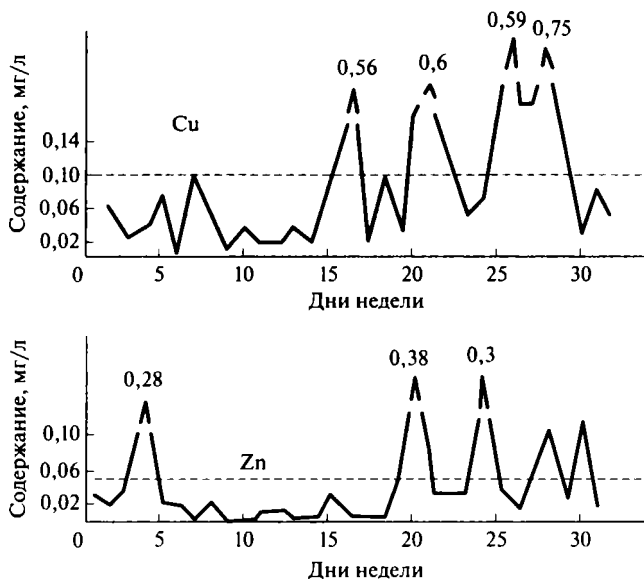


Рис. 7.22. Распределение меди и цинка в водотоке, дренирующем промышленную зону (пунктирная линия ПДК) (Геохимия окружающей среды, 1990)

**Таблица 7.7. Характер воздействия тяжелых металлов и микроэлементов на здоровье людей и ПДК питьевой воды**

Элемент	ПДК, мг/л	Характер воздействия
Ni <sup>2+</sup>	0,4	Канцероген
Cd <sup>2+</sup>	0,01	Поражение почек
Cd <sup>6+</sup>	0,1	Поражение почек, легких, кожи
Cr <sup>3+</sup>	0,5	Поражение сосудов
Cu <sup>2+</sup>	1,0	Поражение желудочно-кишечного тракта
Pb <sup>2+</sup>	0,03	Поражение кровеносной системы
Hg <sup>2+</sup>	0,005	Поражение центральной нервной системы
Zn <sup>2+</sup>	5	Токсичен
As <sup>3+</sup>	0,05	Вызывает рак кожи
Se <sup>6+</sup>	0,001	Токсичен
Be <sup>2+</sup>	0,0002	Поражение кроветворной системы, нервных клеток головного мозга
Mo <sup>6+</sup>	0,25	Молибденовая подагра
Mn <sup>2+</sup>	0,1	Поражение центральной нервной системы

растворенных веществ в речных водах обычно не превышает 1 г/л. Выделяют воды гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные, хлоридно-сульфатные (рис. 7.23).

Усиление антропогенной деятельности 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, щелоченных из почвенных горизонтов. В низовьях р. Сырдарья минерализация, составлявшая 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,

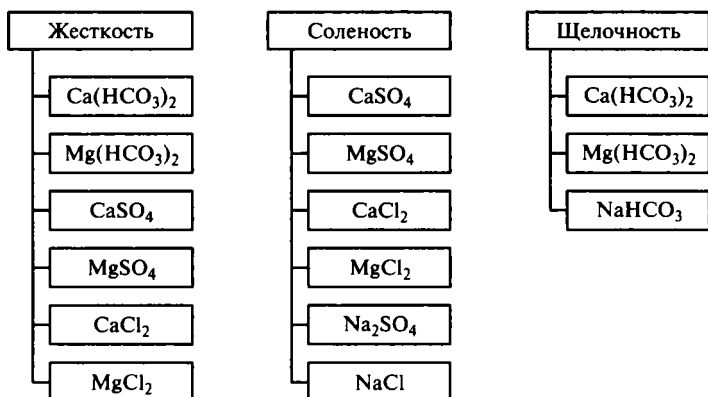


Рис. 7.23. Сочетание различных элементов, обуславливающих свойства воды

по которому с территории США должна вытекать речная вода строго определенного качества.

**Биологическое загрязнение.** *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 нитрозамитов, 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 принятая ПДК азота нитратов в воде составляет 10 мг/л.

**Загрязнение патогенами.** Патогены — это болезнетворные микробы, вызывающие болезни. Содержание этих микроорганизмов в воде, вызывающих различные кишечные заболевания, бывает очень значительным. Показателем загрязнения служит содержание кишечной палочки (колистр). В России норма кишечных палочек в 1 л = 1 тыс. (коли-индекс 1 тыс.). В р. Ямуна, протекающей через Нью-Дели, этот показатель достигает значения 24 млн коли-палочек на 100 мл воды.

**Физическое загрязнение.** Загрязнение 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 м<sup>3</sup> воды для охлаждения 1 т пара. При мощности турбин 500 — 600 тыс. кВт водопотребление для этой цели составляет 13— 15 м<sup>3</sup>/с летом и 11 — 18 м<sup>3</sup>/с зимой. Поэтому при прямоточном водоснабжении крупной конденсационной тепловой электростанции расход сбрасываемых в водоемы отработанных тепловых вод составляет 90 м<sup>3</sup>/с и более, а в год — до 2,7 км<sup>3</sup> (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 конвекции, 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 биогенных 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 донных гидробионтов. В придонной зоне обнаруживается большой дефицит кислорода вплоть до появления в ней сероводородного заражения. 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.

*Радиоактивное загрязнение* возможно там, где в водоемы сливаются отходы предприятий. Так, на предприятии «Маяк» (Челябинск) в качестве накопителя радиоактивных отходов используется оз. Кыштым. С конца 40-х годов XX в. на этом предприятии производится оружейный плутоний, а радиоактивные отходы сливались и р. Теча. Очень долго для этих целей использовалось оз. Карачай. Имеется 500 млрд м<sup>3</sup> радиоактивной воды в серии искусственных водоемов в верховьях р. Теча (1991). Радиоактивное загрязнение рек Припять, Днепр и других произошло в результате аварии на Чернобыльской АЭС (1986).

## 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 тыс. озер Швеции около 4 тыс. серьезно подкислены и еще 18 тыс. подкислены в некоторые критические периоды, особенно во время снеготаяния. В 4,5 тыс. озерах почти нет рыбы, а 18 тыс. настолько асидифицированы, что стали почти безжизненными.

В южной части Норвегии тысячи озер асидифицированы и в 1 750 отсутствует рыба. В Финляндии асидифицированы 500 из 8 тыс. озер. В Швеции pH воды озер уменьшился от 6 в 1950 г. до 5 и менее и 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 pH. Развитие водорослей и микропланктона, распад микроорганизмов, нитрификация и денитрификация наиболее энергично протекают при pH 6 — 8. Степень изменения флоры и фауны в водных экосистемах — важный индикатор асидификации и им пользуются в качестве биоиндикатора. Установлено, что в озерах Канады ракообразные, насекомые, некоторые водоросли и зоопланктон исчезают уже при pH, равном 6. При уменьшении pH, т.е. при возрастании кислотности вод, увеличивается подвижность иона алюминия, который оказывает токсичное воздействие на

популяции рыб. При снижении pH среды ниже 5,5 количество видов рыб и их численность в озерах и реках сокращаются. Некоторые популяции рыб исчезают при уменьшении pH среды до 5,0. Подобная картина характерна и для озер Европы (рис. 7.24).

Уменьшить воздействие кислотности выпадающих атмосферных осадков, как и саму кислотность водоемов, можно путем известкования. В Швеции проводятся работы по известкованию около 3 000 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.

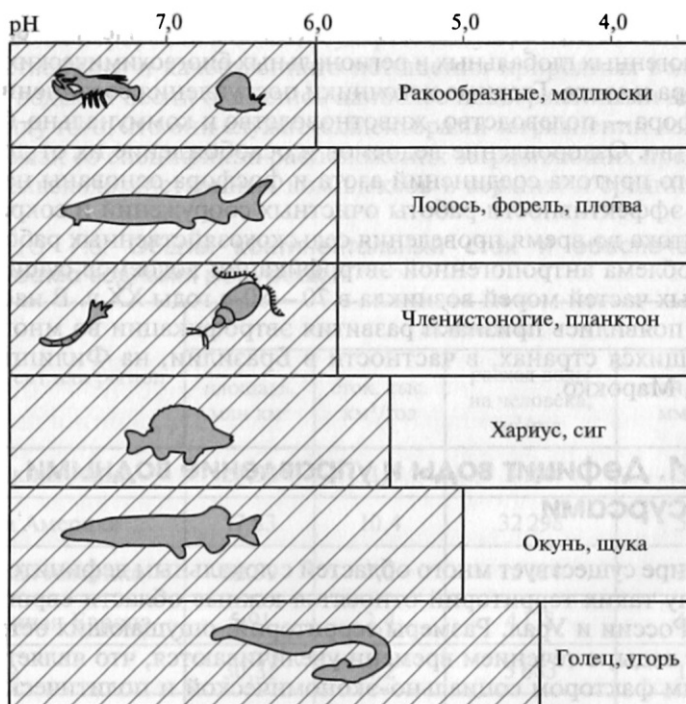


Рис. 7.24. Влияние кислотности вод на выживание организмов (из кн. Ю.Л.Хотунцева, 2004, с изм.)

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 водосбросы, 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 соединений 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.

## 7.11. Дефицит воды и управление водными ресурсами

В мире существует много областей с локальным дефицитом воды. К числу таких территорий относятся южные области европейской части России и Урал. Размеры территорий, ощущающих острый дефицит воды, с течением времени увеличиваются, что является важнейшим фактором социально-экономической и политической неустойчивости страны. Освоение водных ресурсов при строительстве гидротехнических сооружений приносит не только ожидаемые выгоды, но и значительный геоэкологический ущерб.

Важной экологической проблемой является нехватка пресных вод. В связи с этим стоит рассмотреть вопрос водообеспеченности населения различных регионов водными ресурсами (табл. 7.8).

Исходя из существующих данных самая низкая водообеспеченность характерна для Австралии. Недостаточными водными ресурсами обладает и Африка. На последнем месте находится зарубежная Азия. Лучше всего обеспечены водой Океания и Южная Америка, удовлетворительно Северная Америка, Россия и Зарубежная Европа.

Для удовлетворения физиологических потребностей человеку достаточно 400 л/год. С учетом воды для промышленности расход воды значительно возрастает (табл. 7.9). Поэтому уровень 500 м<sup>3</sup> на человека в год и менее является чрезвычайно низким для национального устойчивого развития. Уровень 1 000 м<sup>3</sup>/год на человека обычно принимается в качестве критического, указывающего на то, что страна находится в состоянии острого дефицита водных ресурсов. И таких стран становится все больше. К 2025 г. их число может возрасти до 45.

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 тече-

**Таблица 7.8. Общий континентальный сток и обеспеченность человечества водными ресурсами**

Континент или регион	Показатели			
	площадь, млн км <sup>2</sup>	сток, тыс. км <sup>3</sup> /год	расход воды на человека, м <sup>3</sup> /год	слой стока, мм/год
Зарубежная Азия	29,30	11,0	3 150	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	4 138	406
Африка	30,31	4,2	5 683	138
Россия	17,08	4,2	28 378	246
Океания	0,82	2,1	196 261	2 560



**Таблица 7.9. Число стран, различающихся по количеству водных ресурсов на душу населения (по Г. Н. Голубеву, 2006)**

Количество водных ресурсов, м <sup>3</sup> /чел. в год	Число стран этой категории в 1990 г.	Ожидаемое число стран этой категории в 2025 г.
Крайне малое (менее 500)	15	26
Очень малое (500 — 1 000)	12	19
Малое (1 000 — 5 000)	58	51
Среднее (5 000 — 10 000)	12	10
Высокое (более 10 000)	48	39

ниях 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. Для уменьшения дефицита воды используют охрану водоисточников и их рациональное использование, предотвращение загрязнений, установление экономически обоснованных цен на воду, применение водосберегающих технологий, многократное использование воды в технологических циклах (оборотное водоснабжение), разделение питьевой и технической воды, совершенствование водораспределительного и сантехнического оборудования. 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 1 000 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 не должно содержаться более 10 тыс. кишечных палочек. Однако и такая вода подвергается обязательному хлорированию и очистке.

Для управления водными ресурсами пользуются показателями 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 легкорастворимых 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 поливомоечными.

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 соленость 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, батияль, абиссаль и ультраабиссаль. В пределах Мирового океана располагаются следующие геоморфологические элементы: шельф, материковый склон, ложе, глубоководные желоба, срединноокеанские хребты, 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 области 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 деятель-*

ность вызвала глобальные и региональные загрязнения. Они развились не только в разрушении берегов и береговых сооружений, изменении солености и температурного режима, но и в больших объемах поступающих загрязняющих веществ.

Гидросферу суши составляют реки, озера, болота, ледники, подземные воды и водохранилища. Каждая из этих систем несет экологические функции, служит источником возникновения стихийных бедствий и в то же время является объектом загрязнения. Большую роль играют водохранилища. Разработана специальная их классификация, отличающаяся от классификации озер. 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 твердыми и минеральными частицами, нефтью и нефтепродуктами, детергентами, биогенными веществами, тяжелыми металлами. В природных водах суши широко распространены процессы асидификации 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 соленость 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 лимноабразия?
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.* Рациональное использование и охрана водных ресурсов / А. Б. Авакян, В. М. Широков. — Екатеринбург, 1994.
- Геохимия окружающей среды / [Ю. Е. Свет и др.]. — М.: Недра, 1990.
- Добровольский А. Д.* Региональная океанология / А. Д. Добровольский, Б. С. Залогин. — М., 1992.
- Залогин Б. С.* Мировой океан / Б. С. Залогин, К. С. Кузьминская. — М., 2001.
- Михайлов В. Н.* Общая гидрология / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский. — М., 1991.
- Степанов В. Н.* Природа Мирового океана. — М., 1982.
- Янин Е. П.* Русловые отложения равнинных рек (геохимические особенности условий формирования и состава). — М.: ИМГРЭ, 2002.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

---

### 8.1. Строение Земли

Земля — одна из восьми планет Солнечной системы (Плутон недавно был исключен из состава планет системы на Международной конференции в Чехии). Земля относится к внутренним твердым планетам в составе Меркурия, Венеры, Земли и Марса, отделенным от внешних газовых планет-гигантов поясом из многих тысяч астероидов. Земля имеет спутник — Луну, которая вместе с Солнцем сильно влияет на многие земные процессы. Радиус Земли равен 6 371 км, а расстояние до Солнца составляет 150 млн км — 1 астрономическая единица (а.е.) Средняя плотность Земли составляет 5,52 г/см<sup>3</sup>, в то время как поверхностные породы обладают плотностью 2,2 — 2,8 г/см<sup>3</sup>, что заставляет предполагать присутствие очень плотных пород в центре. Среднее ускорение свободного падения на земной поверхности достигает 981 гал (9,81 м/с<sup>2</sup>). Полный оборот Земли вокруг Солнца составляет 365,26 сут при скорости 29,77 км/с, что приводит к некоторому сплющиванию земного шара, и полярное сжатие  $a = 1/298,25$ , что равняется 0,3 % (21,38 км) у полюсов. Однако в экваториальном сечении наибольший и наименьший радиусы различаются на 213 м. Следовательно, воображаемая форма Земли представляет собой сфероид, но реальная фигура лучше описывается *геоидом* — эквипотенциальной поверхностью невозмущенного океана, продолженной на континенты, сила тяжести в каждой точке которой перпендикулярна к ней. Площадь поверхности Земли составляет 510 км<sup>2</sup>, масса —  $1,083 \cdot 10^{12}$  км<sup>3</sup>.

Самая глубокая скважина на Земле — 12 км 224 м, пробурена на Кольском полуострове, недалеко от Мурманска, однако внутреннее строение нашей планеты сейчас хорошо известно благодаря сейсмологическому методу, заключающемуся в прохождении через земной шар объемных волн деформации, возникающих от любого землетрясения или крупного наземного взрыва. Эти волны улавливаются специальными приборами — сейсмографами, и по записям прохождения волн через разные сферы земного шара можно судить о его строении.

Сверху вниз Земля состоит из целого ряда геосфер, взаимодействующих друг с другом: 1) земная кора, 2) верхняя мантия, куда включаются литосфера и астеносфера, 3) нижняя мантия, 4) внешнее ядро, 5) внутреннее ядро.

*Земная кора* ограничивается снизу четкой поверхностью скачка скоростей сейсмических волн, впервые установленной геофизиком А. Мохоровичичем (1909) и получившей его имя: поверхность Мохоровичича, или Мохо, или, совсем кратко, поверхность М (рис. 8.1).

Вторая глобальная сейсмическая граница раздела находится на глубине 2 900 км и была выделена в 1913 г. немецким геофизиком Бено Гутенбергом, получившая его имя. Эта поверхность отделяет *мантию* Земли от ядра. Примечательно, что ниже этой границы поперечные волны (5) исчезают. Так как для поперечной волны скорость определяется как модуль сдвига, деленный на плотность, а модуль сдвига в жидкости и газе равен нулю, то и вещество, составляющее внешнюю часть ядра, должно обладать свойствами жидкости.

На глубине 5 120 км снова происходит скачкообразное увеличение скорости волн и появляются волны *S*, т.е. эта часть ядра твердая.

Таким образом, внутри Земли устанавливается три глобальные сейсмические границы, разделяющие земную кору и мантию (граница М), мантию и внешнее ядро (граница Гутенберга), внешнее и внутреннее ядро.

Однако на самом деле границ, на которых происходит скачкообразное изменение скорости волн *P* и *S*, больше, и сами границы характеризуются некоторой переходной областью. Сейсмолог К. Буллен, разделив внутреннюю часть Земли на ряд оболочек, дал им буквенные обозначения (рис. 8.2).

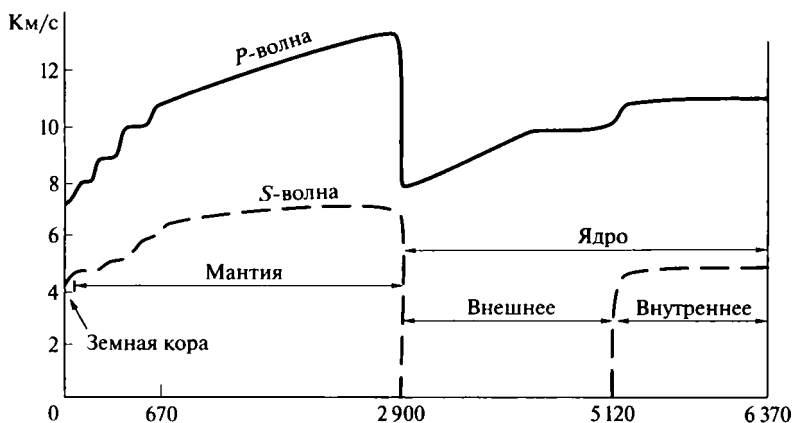


Рис. 8.1. Скорость сейсмических волн внутри Земли

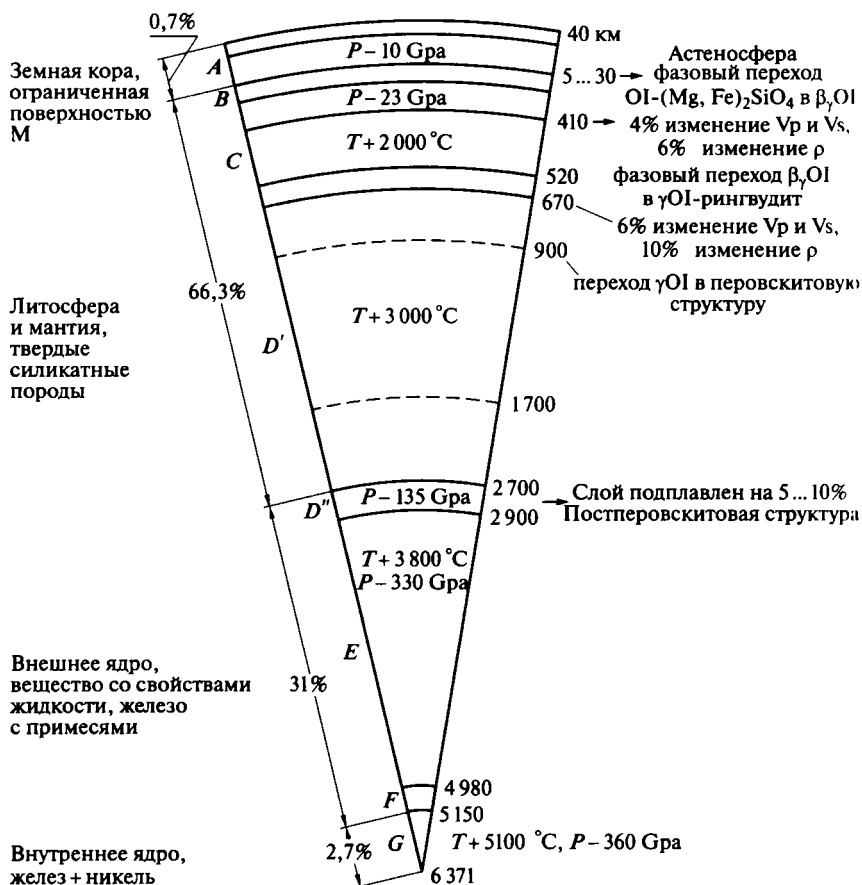


Рис. 8.2. Схема внутреннего строения Земли. Латинские буквы — слои по К. Буллену. Доля геосфер показана в %, глубина залегания геосфер — в км

Ниже поверхности М скорости сейсмических волн увеличиваются, но на некотором уровне, различном по глубине под океанами и материками, вновь уменьшаются, хотя и незначительно, причем скорость поперечных волн уменьшается больше. Особенности этого слоя, получившего название *астеносфера* (от др. греч. *астенос* — слабый, мягкий), объясняются возможным его плавлением в пределах 1 — 2 %, что обеспечивает понижение вязкости и увеличение электрической проводимости. Плавление проявляется в виде очень тонкой пленки, обволакивающей кристаллы при  $T = +1200^\circ\text{C}$ . Астеносферный слой расположен ближе всего к поверхности под океанами — от 10 — 20 км до 80 — 200 км и глубже (80 — 400 км под континентами), причем залегание астеносферы глубже под более древними геологическими

структурами (рис. 8.3). Мощность астеносферного слоя, как и его глубина, сильно изменяется в горизонтальном и вертикальном направлениях. В современных геотектонических представлениях астеносферному слою отводится роль своеобразной смазки, по которой могут перемещаться вышележащие слои мантии и коры.

**Механические свойства.** Земная кора и часть верхней мантии над астеносферой носит название *литосфера* (от греч. *литое* — камень). Литосфера холодная, поэтому она жесткая и может выдержать большие нагрузки.

**Плотность** Земли — важный параметр, который косвенно помогает оценить сейсмические границы раздела внутри земного шара. Известно, что средняя плотность горных пород на поверхности равна  $2,7 - 2,8 \text{ кг/м}^3$ . Как уже отмечалось, средняя плотность Земли  $5,52 \text{ кг/м}^3$ . Расчетные данные показывают, что плотность возрастает с глубиной скачкообразно, как и скорость сейсмических волн. Верхняя мантия, сразу под границей М, характеризуется плотностью  $3,3 - 3,4 \text{ кг/м}^3$ , т.е. наблюдается резкий скачок. Особенно сильный скачок плотности (от  $5,5 \text{ кг/м}^3$  в низах мантии до  $10 - 11,5 \text{ кг/м}^3$  во внешнем ядре) совпадает с границей Гутенберга, при этом внешнее ядро обладает свойствами жидкости. Плотность во внутреннем ядре остается предметом догадок, но предположительно должна быть от  $12,5$  до  $14,0 \text{ кг/м}^3$ .

Таким образом, изменение и нарастание плотности в целом совпадает с главными сейсмическими разделами в Земле. Отсюда ясно, что средняя плотность  $5,5 \text{ кг/м}^3$  должна обеспечиваться умеренно плотной мантией и очень плотным ядром, в котором находится 32 % массы Земли (а по объему - 16 %). Плотность увеличивается с глубиной в мантии за счет сжимаемости и фазовых переходов при нарастании давления, а не за счет изменения химического состава.

**Давление** внутри Земли рассчитывается исходя из той плотности, которая получается при интерпретации сейсмических границ. При этом предполагается, что Земля как планета находится в состоянии гидростатического равновесия. Давление нарастает постепенно, со-

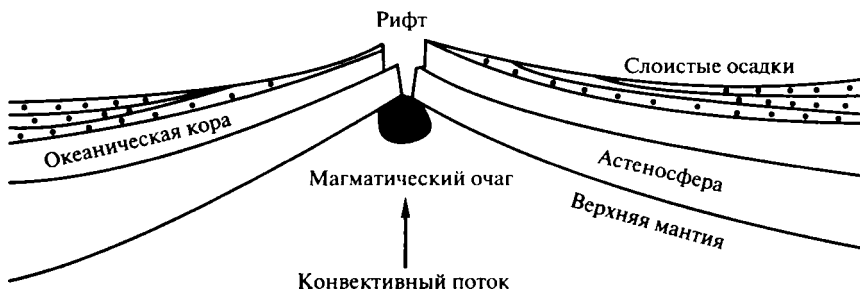


Рис. 8.3. Схема строения срединно-океанического хребта



ставляя в подошве коры границы М, МПа, —  $1 \cdot 10^3$ , на границе мантия — ядро —  $137 \cdot 10^3$ , внешнего и внутреннего ядра —  $312 \cdot 10^3$  и в центре Земли —  $361 \cdot 10^3$ .

Ускорение свободного падения, как известно, на уровне океана, на широте  $45^\circ$  составляет  $9,81 \text{ м/с}^2$ , а в центре Земли равняется 0. У границы мантия — ядро ускорение свободного падения достигает максимального значения ( $10,37 \text{ м/с}^2$ ) и с этого уровня начинает быстро падать, получая значение на границе внешнего и внутреннего ядра  $4,52 \text{ м/с}^2$ . Земля обладает внешним гравитационным полем, отражающим распределение в ней масс. Величина силы тяжести зависит от расстояния до центра Земли и от плотности пород. Для геологов очень важно знать закономерности размещения плотностных неоднородностей в земной коре, что позволяют сделать гравитационные аномалии — отклонения от общего внешнего гравитационного поля. Сила гравитации будет, естественно, больше над более плотными массами.

*Механические свойства* вещества Земли на всех уровнях важны для понимания геодинамических процессов. Часть верхней мантии до глубин примерно в 200 км ведет себя в целом как более хрупкая, чем нижняя мантия. Жесткость литосферы оценивается в  $10^{24}$  нм, и она обладает неоднородностью в горизонтальном направлении. Именно в литосфере, особенно в ее верхней части, образуются разломы.

Астеносфера, подстилающая литосферу, также обладает неоднородностью в горизонтальном направлении и изменчивой мощностью. Пониженные скорости сейсмических волн в астеносфере хорошо объясняются плавлением всего лишь 2 — 3 % вещества. Астеносферный слой, по современным представлениям, играет важнейшую роль в тектонической и магматической активности литосферных плит и обеспечивает их изостатическое равновесие, несмотря на то, что сам слой может быть прерывистым, например, отсутствуя под древними докембрийскими платформами.

Располагающаяся ниже астеносферного слоя мантия, особенно нижняя, глубже 670 км обладает вязкостью около  $10^{23} \text{ Па} \cdot \text{с}$ . Эта очень высокая вязкость, тем не менее она не является непреодолимым препятствием для медленных конвективных перемещений мантийного вещества, что подтверждается *сейсмической томографией*, позволяющей «увидеть» очень незначительные плотностные неоднородности в мантии. Глубже 700 км в мантии не зафиксировано очагов землетрясений, что свидетельствует о невозможности возникновения сколов.

Сейсмотомография позволила установить в самых низах мантии примечательный слой D" (от англ. *ди-дабл-прайм*), верхняя граница которого неровная, мощность изменяется в горизонтальном направлении и этот слой может быть даже частично расплавлен. В верхах нижней мантии обнаружен также слой с пониженной вязкостью, как

и астеносферный и, таким образом, в мантии устанавливается три слоя с пониженной вязкостью. Температура в мантии близка к температуре плавления, и поэтому вещество мантии способно к течению, как жидкость с очень высокой вязкостью, а перепад температур таков, что в мантии должна происходить тепловая конвекция. Сейсмоотография дала очень много для выявления неоднородностей в строении мантии Земли.

Земной шар, как вращающееся тело, состоящее из целого ряда слоев, является фигурой почти равновесной. Именно так предполагают законы гидродинамики, несмотря на то что Земля является твердым телом, а не жидким. Тонкая оболочка земной коры, составляющая по мощности всего лишь  $1/160$  радиуса Земли, как мы видели ранее, представляет собой оболочку, отличающуюся на континентах и в океанах как по своей плотности, так и по мощности, причем такое же различие устанавливается и в пределах континентальной коры.

Термин *изостазия* (от греч. *стасис* — равновесие) означает стремление земной коры к достижению гидростатического равновесия. Это представление лучше всего проиллюстрировать действием известного закона Архимеда. Тяжелое и большое тело будет погружаться в жидкость на большую глубину, чем тело легкое и меньшего размера. Допустим, что в какой-либо жидкости плавают бруски одинаковой ширины и состава, но различные по длине. Тогда над поверхностью жидкости будет подниматься меньшая часть бруска, но которая зависит от его высоты. Одновременно большая часть бруска погружена в жидкость. Чем брусок больше, тем его часть над поверхностью жидкости будет выше, но одновременно и часть бруска, находящаяся ниже поверхности жидкости, погружается в нее на большую глубину. Подобная картина хорошо иллюстрируется айсбергами, огромными ледяными блоками, отколовшимися от ледников.

Так же должна вести себя и земная кора. Если на ее поверхности образовались горы высотой 5 — 7 км, то подошва земной коры должна погрузиться в мантию на какую-то величину, чтобы компенсировать возросшую нагрузку. Так появляется «корень» гор (компенсационная масса), или прогиб поверхности Мохоровичича, — подошвы земной коры. Чем горы выше, тем прогиб, или «корень», больше, т.е. он должен глубже вдаваться в верхнюю мантию, плотность которой в среднем  $3,3 \text{ г/см}^3$ , а средняя плотность земной коры  $2,8 \text{ г/см}^3$ . И этот «корень» гор должен в несколько раз превышать высоту горных хребтов над уровнем моря. По существу, в этом и заключается явление компенсации рельефа на глубине. Компенсационная, или изостатическая, поверхность в данном случае представляет собой урovenную поверхность, которая непосредственно касается снизу компенсационной массы. Эту поверхность иначе называют глубиной компенсации.

За последний 1 млн лет большие пространства в высоких широтах Северного полушария не менее четырех раз покрывались огромными ледниковыми щитами. Это были так называемые Великие четвертичные оледенения. Последнее из них достигло максимума своего продвижения на юг примерно 20 тыс. лет назад и на Европейской равнине оно оставило конечно-моренные гряды в районе Валдая, поэтому и было названо Поздневалдайским. Центрами, откуда ледник начинал радиально перемещаться, были Скандинавия, Новая Земля, а восточнее — Таймыр. Оледенение такого же возраста, названное Висконсинским, охватило всю Канаду и северную часть США.

Мощность ледников в центре щитов составляла 2 — 3 км, а на периферии — первые сотни метров. После максимальной стадии наступания в южном направлении ледник стал быстро таять, отступать, уменьшаться в мощности и около 9 тыс. лет назад последние массы льда уже полностью исчезли.

В Фенноскандии, Карелии и на Кольском полуострове сокращение и утонение ледникового покрова вызвало быстрое поднятие территории в виде свода, причем в его центре поднятие было максимальным, достигнув примерно 250 м, а на периферии — гораздо меньше. Воздымание шло быстро, примерно 10—13 см/год, сразу же после таяния и отступания льда, но впоследствии оно замедлилось и в настоящее время составляет не более 1 см/год.

Такая же картина наблюдается и в Северной Америке, где последнее ледниковое поднятие Канады оценивается в 300 м, а современная скорость поднятия также составляет около 1 см/год, тогда как после снятия ледниковой нагрузки она была значительно больше.

Химический и минеральный состав недр Земли. Определение химического и минерального состава геосфер Земли представляет собой сложную задачу, которая во многом может быть решена лишь весьма приблизительно, основываясь на косвенных данных. Прямые определения возможны только в пределах земной коры, горные породы которой неоднородны по своему составу и сильно различаются в разных местах.

Средний химический состав горных пород земной коры приведен в табл. 8.1 по данным А. А. Ярошевского, где четко видна разница и составе между континентальной и океанической корой, которая носит принципиальный характер. Верхний слой континентальной коры состоит из гранитов и метаморфических пород, которые обнажаются на кристаллических щитах древних платформ. Нижний слой коры практически нигде не вскрыт, но в его составе должны преобладать основные породы — базиты, как магматические, так и метаморфические. Об этом свидетельствуют геофизические и экспериментальные данные. Тем не менее приведенный средний состав земной коры может быть отнесен только к верхней части земной коры, тогда как состав нижней коры все еще остается областью догадок.

**Таблица 8.1. Средний химический состав (%) земной коры и верхней мантии**

Компонент	Верхняя часть континентальной коры	Океаническая кора	Верхняя мантия
SiO <sub>2</sub>	63,83	49,89	45,3
TiO <sub>2</sub>	0,54	1,38	0,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,92	14,81	3,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,75	1,79	—
FeO	3,68	8,6	7,3
MnO	0,09	0,18	0,1
MgO	2,83	7,38	41,3
CaO	4,08	11,93	1,9
Na <sub>2</sub> O	3,02	2,38	0,2
K <sub>2</sub> O	2,84	0,23	0,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14	0,14	—
C <sub>орг</sub>	0,05	—	—
CO <sub>2</sub>	0,9	0,42	—
H <sub>2</sub> O	1,17	0,85	—

Горные породы, слагающие континентальную кору, несмотря на свое разнообразие, представлены несколькими главными типами. Среди осадочных пород преобладают *песчаники* и *глинистые сланцы* (до 80 %), среди метаморфических — *гнейсы* и *кристаллические сланцы*, а среди магматических — *граниты* и *базальты*. Следует подчеркнуть, что средние составы песчаников и глинистых сланцев близки к средним составам гранитов и базальтов, что свидетельствует о происхождении первых за счет выветривания и разрушения вторых.

В океанической коре по массе абсолютно преобладают базальты (около 98 %), в то время как осадочные породы самого верхнего слоя имеют очень небольшую мощность. Самыми распространенными минералами земной коры являются полевые шпаты, кварц, слюды, глинистые минералы, образовавшиеся за счет выветривания полевых шпатов. Подчиненное значение имеют пироксены и роговые обманки.

Состав верхней и нижней мантии может быть определен только предположительно, основываясь на геофизических и экспериментальных данных. Верхняя мантия, ниже границы Моховича с наибольшей долей вероятности сложена *ультраосновными породами*, обогащенными Fe и Mg, но в то же время обедненными кремнеземом. Не исключено, что среди пород верхней мантии много *эклогитов*, которые образуются при высоких давлениях, о чем свидетельствует появление в них минерала *граната*, устойчивого при том давлении, которое существует в верхней мантии.

Основными минералами вещества верхней мантии являются *оливин* и *пироксены*. По мере увеличения глубины твердое вещество мантии скачкообразно, на границах, устанавливаемых сейсмическим методом, претерпевают структурные преобразования, сменяясь все более плотными модификациями минералов, и при этом не происходит изменение химического состава вещества.

Химический и минеральный состав *ядра* предполагается на основании расчетных давлений, около 1,5 Мбар, существующих глубже 5 120 км. В таких условиях наиболее вероятно существование вещества, состоящего из Fe с 10 % Ni и некоторой примеси серы во внешнем ядре, которая образует с железом минерал *троилит*. Как полагает А. А. Ярошевский, именно эта легкоплавкая эвтектическая смесь обеспечивает стабильность жидкого внешнего ядра, выше которого находится твердая силикатная мантия.

Таким образом, Земля оказывается расслоенной на металлическое ядро и твердую силикатную мантию и кору, что обусловливается различной плотностью и температурой плавления. На 92 % Земля состоит из пяти элементов — O, Fe, Si, Mg и S. На все остальные элементы приходится 8 %.

Земная кора — тонкая оболочка нашей планеты, обогащена легкоплавкими соединениями, образовавшимися при плавлении мантийного вещества. Поэтому магматизм во всех его проявлениях и является тем главным механизмом, обеспечивающим формирование легкоплавкой фракции и ее продвижение во внешнюю зону Земли, т.е. формирование земной коры. Магматические процессы фиксируются с самого раннего геологического времени, породы которого доступны наблюдению, а следовательно, в это же время началась дегазация мантии, в результате чего были сформированы атмосфера и гидросфера.

## 8.2. Понятие о геологической среде и экологические функции литосферы

В геологическую науку понятие о геологической среде было введено академиком Е. М. Сергеевым и развито его учениками и после-

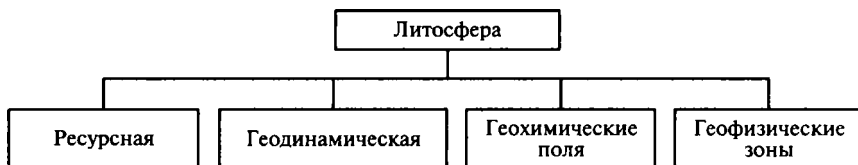
дователями. Под *геологической средой* обычно понимают верхнюю часть литосферы, находящуюся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека. Таким образом, толщина, или мощность, геологической среды определяется глубиной проникновения в толщу горных пород глубоких и сверхглубоких буровых скважин. На континентах она в среднем составляет 5 — 6 км, а самая глубокая скважина (Кольская) проникла в толщу горных пород на глубину, немного 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 проникновения 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 плумов 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 геоэкологическое значение, являются активно действующие разрывные нарушения, приводящие к трещиноватости. Кроме них большая геоэкологическая 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.



**Рис. 8.4. Экологические функции литосферы**

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.

В публикациях, посвященных геоэкологической 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 выделяется, 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 основании 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. 8.4.

### **8.3. 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 (см. рис. 3.6). 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.

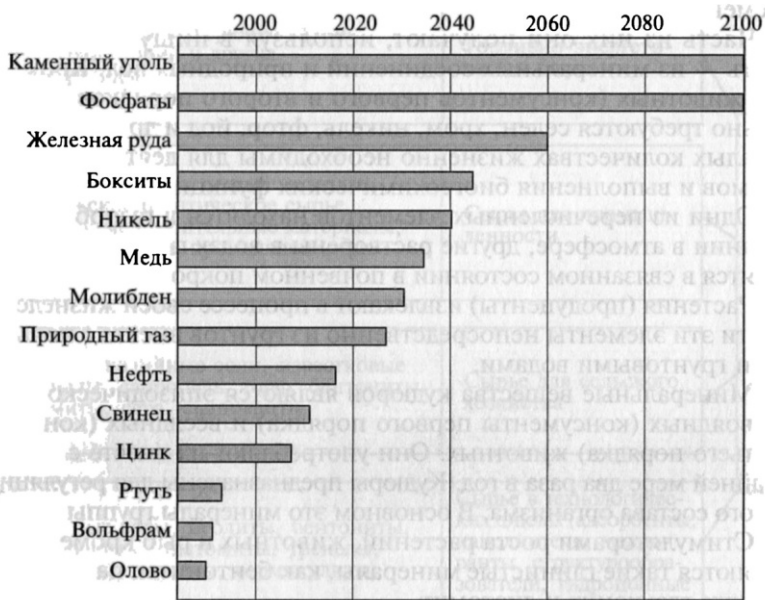


Рис. 8.5. Обеспеченность зарубежных стран (без учета России) разведанными запасами сырья (по современному уровню добычи) (по Г. А. Мирличу, 1984, из кн. В. В. Дмитриев и др. «Прикладная экология», 2008)



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.

На протяжении всей своей истории человеческое общество в разных объемах использовало минеральные ресурсы, причем объем добываемого сырья непрерывно возрастал. 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 (рис. 8.5).

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, являющееся 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, Si, 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 фунтов 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. 8.6. Благодаря им человечество обеспечивает свои потребности в энергии, удобрениях, жилье, транспорте, связи. В настоящее время к этой категории добавились средства получения, передачи, обработки и анализа информации.

К числу полезных ископаемых относятся и подземные воды. Они используются в качестве хозяйственно-питьевого водоснабжения (10,34 км<sup>3</sup>/год), для технического водоснабжения (2,66 км<sup>3</sup>/год), орошения земель и обводнения пастбищ (0,51 км<sup>3</sup>/год), в лечебных целях, в качестве геотермальных источников, для добычи ряда ценных компонентов (йод, бром, бор, литий, стронций, поваренная и калийная соль).

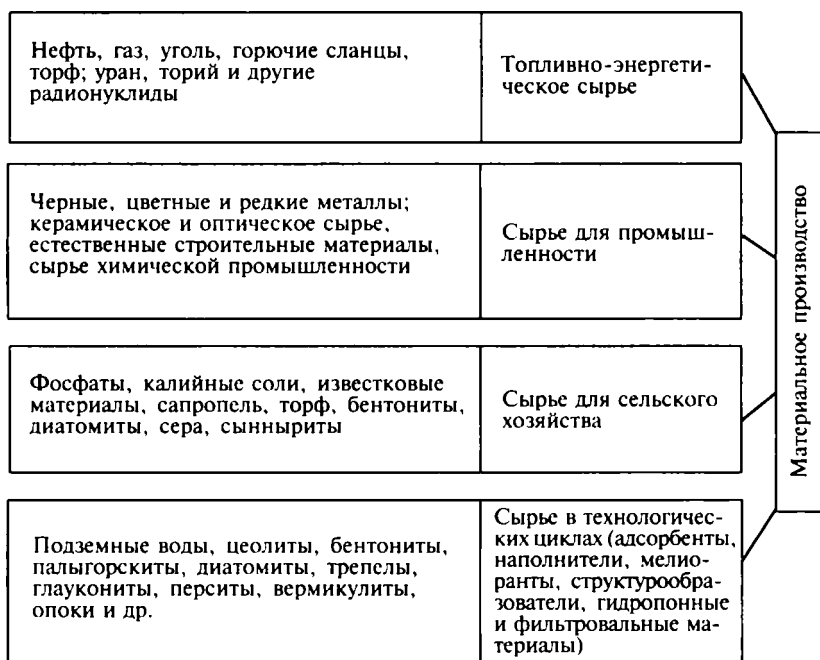


Рис. 8.6. Схема использования основных природных ресурсов литосферы

Экологическое значение подземных вод огромно. Приведем основные направления их использования и объемы потребления, км<sup>3</sup>Дод:

<b>Хозяйственно-питьевое водоснабжение.....</b>	<b>10,34</b>
<b>Техническое водоснабжение.....</b>	<b>2,66</b>
<b>Орошение земель и обводнение пастбищ.....</b>	<b>0,51</b>
<b>Лечебное (бальнеологическое и минеральное) геотермальное....</b>	<b>0,35</b>
<b>Промышленное (извлечение поваренной соли, йода, брома, бора, лития, стронция).....</b>	<b>0,25</b>

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 немыслима 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 немногим более 55 % поверхности суши и существует тенденция дальнейшего нарастания этого процесса. И если для стран с большими земельными ресурсами проблема размещения промышленных, сельскохозяйственных и селитебных 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 угодья 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.

## 8.4. Неблагоприятные геодинамические процессы

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 геоэкологического 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.

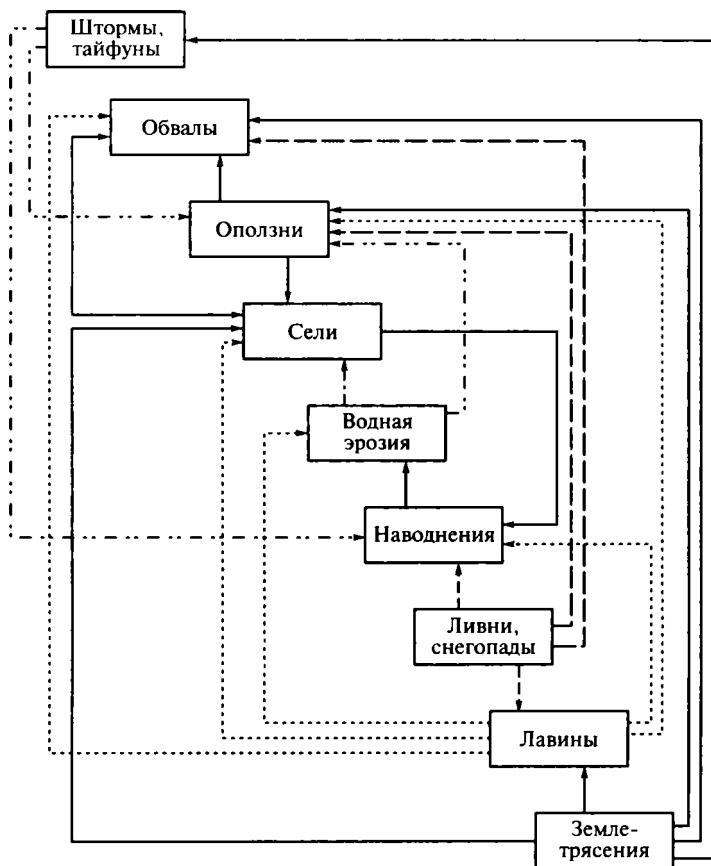
По данным ЮНЕСКО, в настоящее время около 0,5 млрд человек проживают в районах с высокой повторяемостью катастрофических землетрясений. Около четверти населения земного шара проживает в районах, подверженных риску стихийных природных явлений.

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. (см. рис. 6.5).

На состояние геологической среды негативное влияние оказывают экзогенные и эндогенные процессы. 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 (рис. 8.7).

Экзогенные 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.

*Денудация суши и эрозия почв.* Земная поверхность, взаимодействуя с атмосферой, гидросферой и биосферой, в соответствии со спецификой экодинамических 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 биохимического 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, хими-

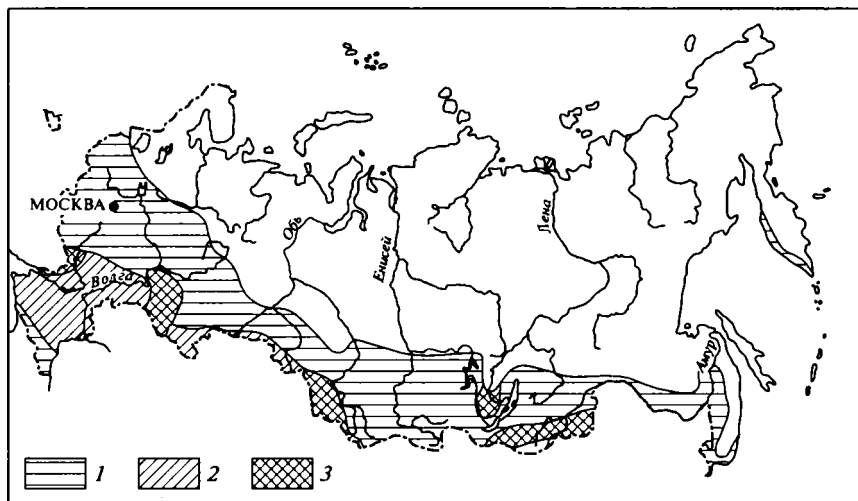


**Рис. 8.7.** Схема цепного взаимодействия стихийных явлений (по Т. Л. Коффу и др., 1997)

ческим 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 выносятся 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 (рис. 8.8).



**Рис. 8.8. Схематическая карта распространения типов эрозии почв на территории России (по Н.Ф. Реймерсу и др., 1992):**

/ — зона распространения водной эрозии (131,1 млн га); 2 — зона распространения ветровой эрозии (184,3 млн га); 3 — совместное распространение водной и ветровой эрозии (8,6 млн га)

*Вынос вещества с речным стоком в океан.* Вынос взвешенных веществ реками в океан с площади 104,8 млн км<sup>2</sup> составляет 15,7 млрд т/год. С суши ежегодно вещество выносятся в растворенном состоянии в виде ионного стока ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ). В океан попадает 2,28 млрд т/год, а в бессточные водоемы — 0,20 млрд т ежегодно. Поверхностные воды выносят в коллоидной форме  $\text{Al}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Fe}$ , биогены (соединения азота, фосфора и др.) и микроэлементы. В океан их выносятся ежегодно около 0,23 млрд т.

*Поток моренного материала покровных ледников.* Антарктический ледник ежегодно сбрасывает в океан 0,69 км<sup>3</sup> (или 1,92 млрд т) твердого вещества. На долю покровных ледников Северного полушария приходится 0,47 млрд т ежегодно.

*Поток продуктов абразии в океан.* Количество материала, теряемого суши за счет разрушения берегов Мирового океана, оценивается величиной 0,65 млрд т.

*Поток золотого 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.

*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.

*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.

*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.

*Высвобождение фоссилизированных компонентов атмосферы и гидросферы.* К таким компонентам относятся вода, углерод, водород и азот. Как показали расчеты, освобождение фоссилизированной воды горных пород при денудации имеет незначительные масштабы и составляет 0,1 млрд т/год, но достаточно большой объем углекислого газа и азота фоссилируется 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.

*Топливная денудация.* Довольно велики потери вследствие сжигания ископаемого топлива. Это ведет к высвобождению фоссилизированных литосферных флюидов углерода, водорода, азота и воды. Среднее значение топливной денудации, подсчитанное 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:

<b>Общее изъятие вещества суши.....</b>	<b>54,55</b>
<b>Вынос в океан.....</b>	<b>27,24</b>
<b>Поток твердого вещества речного стока.....</b>	<b>17,44</b>
<b>Поток растворенных веществ речного стока.....</b>	<b>2,71</b>
<b>Поток моренного материала.....</b>	<b>2,39</b>
<b>Поток продуктов абразии.....</b>	<b>0,70</b>
<b>Поток золотого материала.....</b>	<b>2,00</b>
<b>Поток растворенных веществ прямого подземного стока....</b>	<b>1,00</b>
<b>Дампинг.....</b>	<b>1,00</b>
<b>Улавливание во внутренних водоемах.....</b>	<b>18,21</b>
<b>Аккумуляция в озерах.....</b>	<b>4,83</b>
<b>Аккумуляция в водохранилищах.....</b>	<b>13,38</b>
<b>Высвобождение фоссилизированных компонентов атмосферы и гидросферы.....</b>	<b>9,10</b>
<b>Окисление почвенного гумуса.....</b>	<b>1,00</b>
<b>Окисление органического вещества стратисферы при денудации.....</b>	<b>0,20</b>



<b>Высвобождение воды из минералов и мерзлых пород.....</b>	<b>0,10</b>
<b>Топливная денудация.....</b>	<b>7,80</b>
<b>Общее поступление вещества на сушу.....</b>	<b>2,16</b>
<b>Поток циклических солей.....</b>	<b>0,58</b>
<b>Связывание компонентов атмосферы и гидросферы</b>	
<b>в минералах.....</b>	<b>1,48</b>
<b>Аккумуляция при образовании торфяников.....</b>	<b>0,10</b>
<b>Баланс денудации суши.....</b>	<b>52,39</b>

Области материкового оледенения суммарной площадью около 16 млн км<sup>2</sup> 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 км<sup>2</sup>, поставляется в бассейны конечного стока 52,16 млрд т/год.

Ускоренная денудация суши, не покрытой ледниками, вызвана, вероятно, воздействием производства на природные ландшафты и их трансформацией в антропогенные. Последние занимают около 2/3 площади суши. Согласно исследованиям, проведенным в США, эрозионный снос в местах строительства автострад, зданий и торговых центров в 10 раз больше, чем с полей с пропашными культурами, в 200 раз больше, чем с пастбищ, и в 2 000 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 и 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 дна 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 эрозийные 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 противозерозионные 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 противозерозионных 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 процес-

сами. 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 вывода 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 км<sup>2</sup>.

*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 смещения массы рыхлых пород может быть подмыв участка склона с 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 плотно скрепленных пород залегает на слабо литифицированных толщах или плавцунах, в которых при насыщении водой возникают явления ползучести, выдавливания и выплывания.

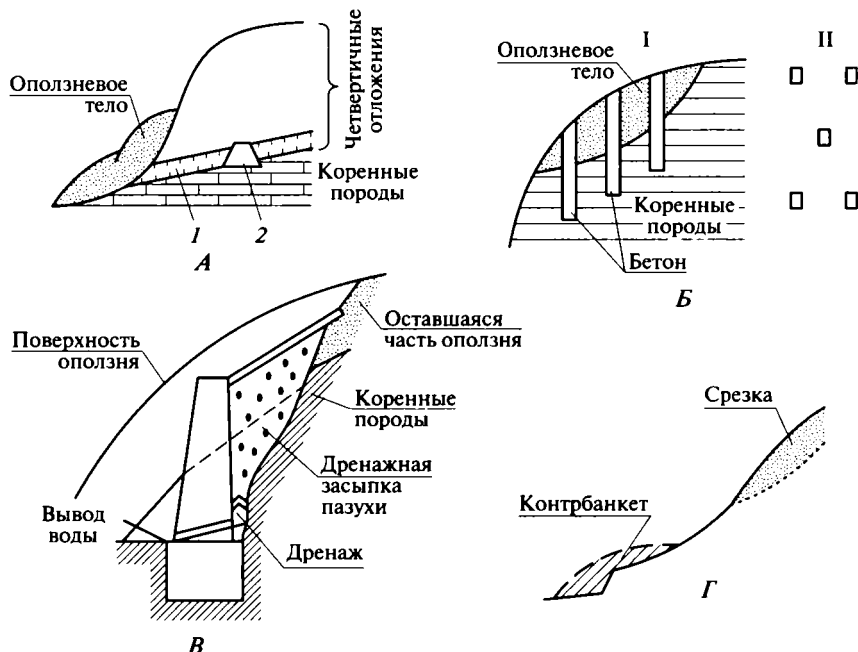
На морских побережьях оползневые процессы активизируются во время штормов, сопровождаемых ливневыми дождями. Многие грандиозные оползни с трагическими последствиями спровоцированы землетрясениями. Активизации оползневых процессов способствует обильное увлажнение пород в результате затяжных дождей, ливней и снеготаяния. В 1994 г. на юге Киргизии после обильных дождей и снегопадов в лёссовых породах сошли оползни-потоки объемом от 500 — 600 м<sup>3</sup> до 1,5 млн м<sup>3</sup>. Погибли 115 человек. В 1974 г. во время крупного оползня объемом 1,6 км<sup>3</sup> 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 (рис. 8.9). Ежегодный материальный ущерб от оползней в мире составляет несколько миллиардов долларов.

На рис. 8.10 приведен пример схода оползня, вызвавшего прорыв дамбы и наводнение. В результате было разрушено несколько поселков и погибло 118 человек.

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 — залега-



**Рис. 8.9. Схемы борьбы с оползнями (по Коломенскому и Комарову, 1964; из кн. И. И. Мазура, О. П. Иванова, 2004):**

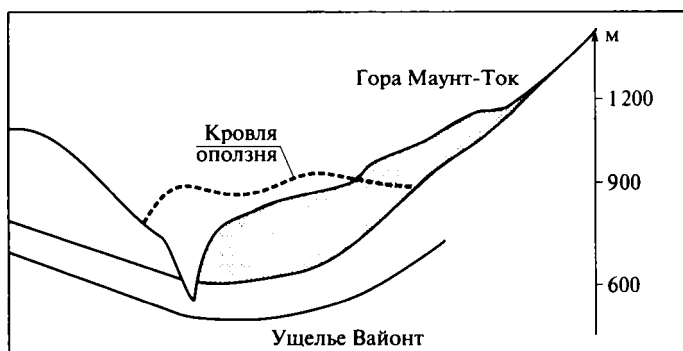
*А* — шtolья, расположенная в водонепроницаемом пласте для перехвата вод; 1 — водоносный горизонт; 2 — шtolья; *Б* — укрепление склона с помощью шпильки (шпонок) (*I* — профиль, *II* — план); *В* — противооползневая подпорная стенка; *Г* — укрепление склона путем упloаживания откоса и устройства контрбанкета

ют неглубоко и перекрыты маломощным чехлом рыхлых четвертичных отложений или даже выходят на поверхность (рис. 8.11). 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 форм — образования глубиной 20 — 30 м, имеющие в поперечнике первые сотни метров (рис. 8.12). 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



А



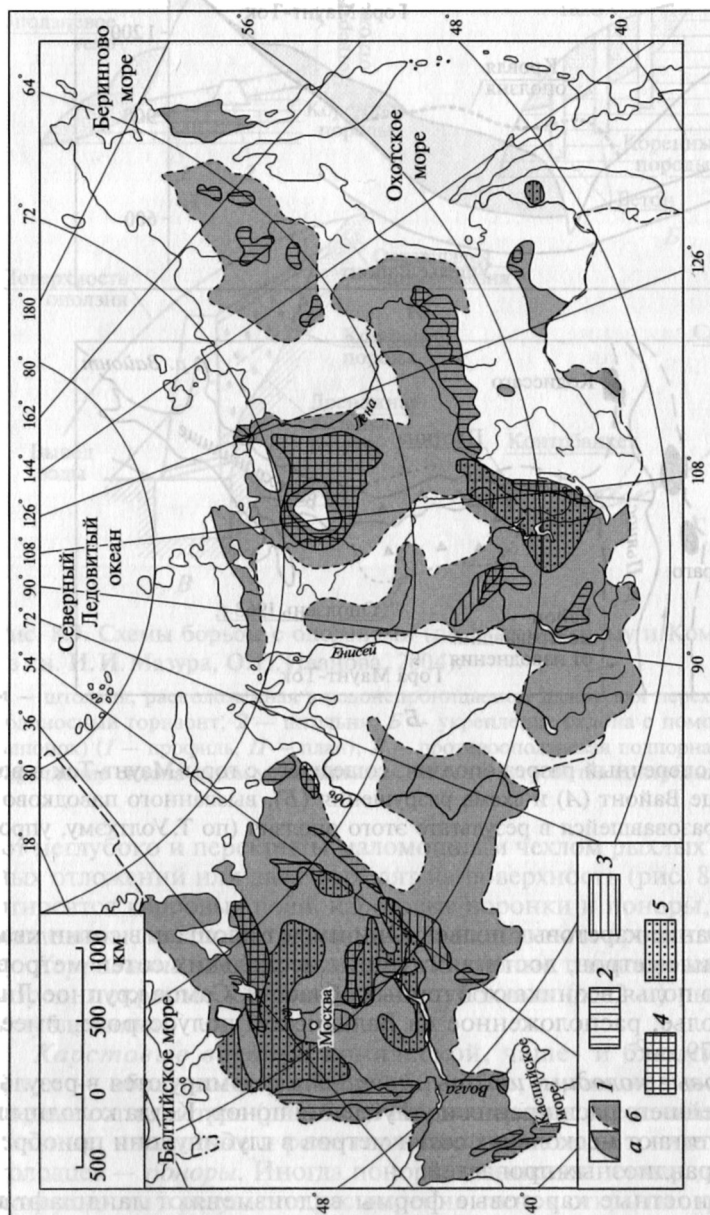
Б

**Рис. 8.10. Поперечный разрез оползня, сошедшего с горы Маунт-Ток в водохранилище Вайонт (А) и схема разрушения (Б), вызванного паводковой волной, образовавшейся в результате этого оползня (по Т.Уолтхэму, упрощенно)**

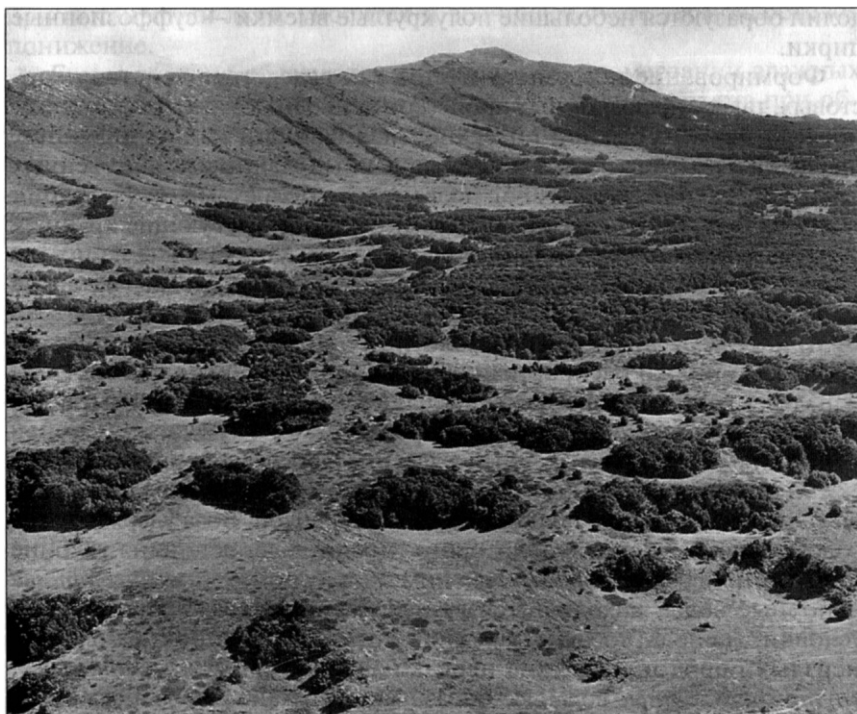
носят название карстовых полей. Они имеют площадь в сотни квадратных километров, достигая глубины нескольких сотен метров. Чаще всего поля возникают в горных областях. Самое крупное Ливанское поле, расположенное на Балканском полуострове, имеет площадь 379 км<sup>2</sup>.

*Карстовые колодцы, шахты, пропасти* формируются в результате дальнейшего расширения и углубления понор. 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.



**Рис. 8.11. Распространение карста на территории России (по А. А. Смыслову и др., 2002; из кн. В. В. Дмитриева, 2008):**  
 1 — карстующиеся породы (*a* — открытый карст, *б* — глубокий карст); 2, 3 — литологические типы открытого карста; 2 — карбонатный; 3 — сульфатный; 4 — переслаивание карстующихся пород; 5 — переслаивание карстующихся и некарстующихся пород



**Рис. 8.12. Карстовые воронки на нижнем плато Чатырдаг, Крым. Вид с вертолета (фото М. Ю. Никитина)**

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, штретков, 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 склонах 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 многолетне-мерзлых фунтов. 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 многолетне-мерзлых 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 фунтов.

Наиболее неблагоприятными в экологическом отношении являются следующие криогенные процессы: термокарст, буфы 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» протавания, 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 промерзшего фунта 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 излияния 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.

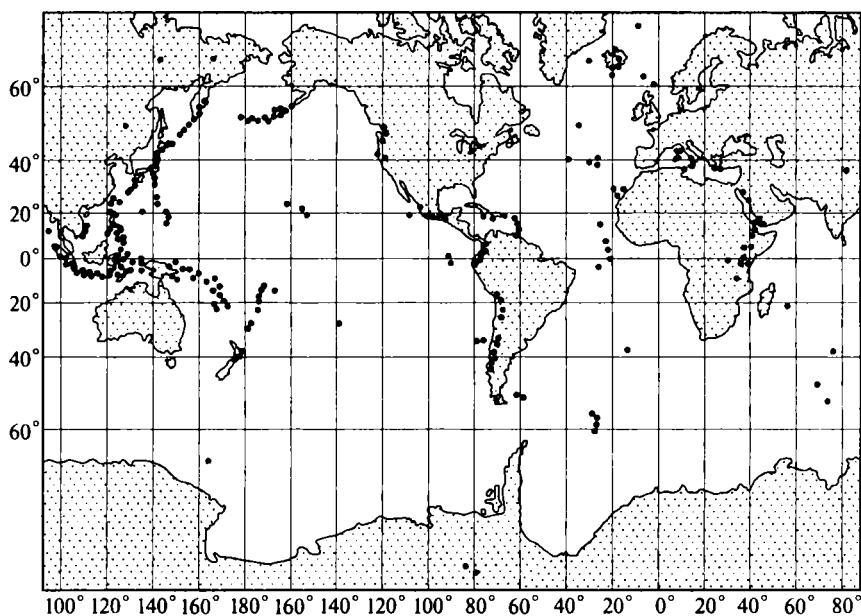
Многолетняя практика проведения хозяйственных работ в районах с многолетнемерзлыми грунтами нарушает режим мерзлоты и приводит к оттаиванию. Возникают разжиженные грунты. В конце кон-

цов это вызывает деформацию, разрушение зданий и дорожного полотна.

**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 (рис. 8.13).

**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 образо-



**Рис. 8.13.** Расположение действующих вулканов на земном шаре. Черные кружки — вулканы

ванием 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 1 500 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, тефра и вулканические аэрозоли, пирокластические потоки, палящие и пелловые 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 тефра 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 1 300 °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 литературе является извержение вулкана Везувий в 79 г. до н.э. Под семиметровым слоем вулканического пепла были погребены города Геркулум, Помпеи, Стабия.

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 быты 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 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 (1975) пепловая туча охватила площадь 1 000 км<sup>2</sup>. На Камчатке пеплом была засыпана растительность и олени 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 механическими 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 фумарольной 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 геологических процессов. Это внезапное освобождение потенциальной энергии земных недр в виде продольных и поперечных волн. За 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 крыльев тектонических нарушений.

Сила землетрясения зависит от количества выделившейся в области очага энергии, характеризуемой 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 применяют шкалу 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.

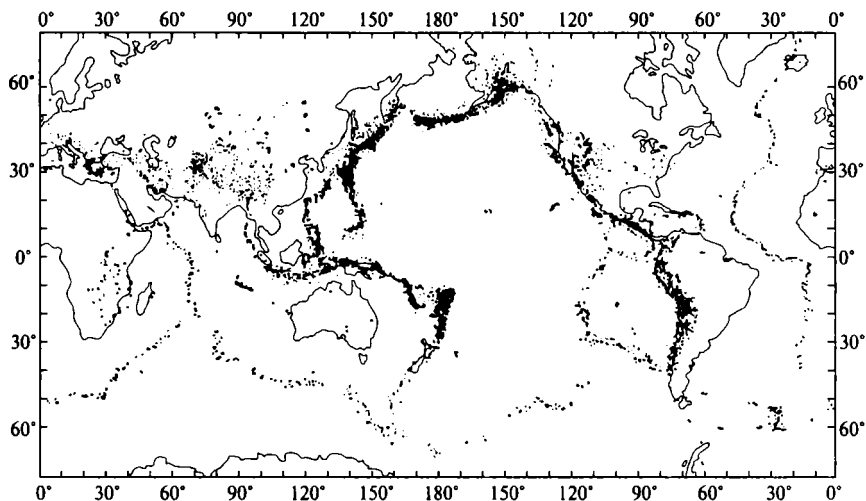
Надо отметить, что оценка землетрясений в магнитудах более объективна, чем в баллах, так как степень разрушения построек зависит не только от количества выделившейся энергии, но и от других факторов, в частности от качества построек и применения антисейсмической технологии строительства, глубины очага, 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. 8.14). 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



**Рис. 8.14. Очаги сильных землетрясений**

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 фундамента 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 превысило 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, а 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-Соихан высотой до 4 км и протяженностью 257 км был приподнят и сдвинут к востоку. Образовались многочисленные разрывные нару-



шения, в частности грабены шириной 800 м и длиной до 3,5 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 магнитудой, 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 после соответствующих исследований и составления специальных сейсмогеологических карт, но точно указать место и время крайне сложно и при современном уровне развития науки и технической ее оснащенности практически невозможно.

Исходя из этого 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

**Таблица 8.2. Количество и мощность землетрясений, происходивших на Земле**

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 — 1 000
Слабые местные, не вызывающие больших повреждений	4 — 5	5 000 — 7 000

кровли и межэтажных перекрытий, отказ от выступающих тяжелых деталей — карнизов, балконов, лоджий.

## 8.5. Особенности геофизических и геохимических аномалий

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, 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.

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.

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.

Аномалии создают физические и геохимические поля, которые возникают перед надвигающимися грозными геологическими стихиями, в первую очередь — землетрясениями.

По масштабам выбросов и охваченной площади выделяют точечные, локальные и региональные аномалии. К первым относятся

аномалии, возникающие за счет скопления радиоактивных минералов в определенных частях жилых и промышленных зданий. Локальные аномалии формируются в результате скоплений токсичных веществ на полигонах бытовых и промышленных отходов, в 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.

Геохимические аномалии. Эти 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/т) или на единицу объема (мкг/дм<sup>3</sup>, мг/дм<sup>3</sup>, г/м<sup>3</sup>) вещества в массовых или объемных процентах.

Геохимические аномалии — участки территории, в пределах которых хотя бы в одном из слагающих их природных тел статические параметры распределения химических элементов отличаются от геохимического фона (средней величины природной вариации содержания химических элементов).

*Естественные геохимические аномалии* действуют достаточно постоянно во времени и в пространстве. Они могут быть обусловлены наличием вертикальных и горизонтальных неоднородностей в литосфере. Часто геохимические аномалии обусловлены рудными залежами (табл. 8.3) и скоплениями неметаллических полезных ископаемых (рис. 8.15). Повышение концентраций различных элементов в почвах в пределах рудной зоны приводит к увеличению содержания этих же элементов в растениях (рис. 8.16). Известно также, что в зоне окисления сульфидных месторождений над рудными залежами локализуется аномально высокие значения Си, Zn, Pb, Sc, Cd, In, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>. На земную поверхность благодаря глубинным разломам поступают эманации гелия, углеводородов, радиоактивных газов и особенно радона. Все они создают локальные геохимические аномалии (рис. 8.17).

Их воздействие на живые организмы может быть различным в зависимости от уровня токсичности химических элементов и их соединений, а также количества поступающего вещества. Высокоопасными являются окисдные месторождения урана, сернистые руды Вi, Те, Se, As, Sb, Hg, Си, менее опасными — разнообразные по генезису месторождения Pb, Zn и галоидных соединений, опасными — месторождения слюды, талька, берилла и некоторых драгоценных камней.

*Техногенные геохимические аномалии* связаны с промышленными центрами, где сконцентрирована основная масса предприятий, некоторые из них являются вредными и особо вредными производствами (табл. 8.4).

**Таблица 8.3. Геохимические ассоциации химических элементов, концентрирующихся в некоторых типах рудных месторождений (по С. В. Григорян, 1987)**

Тип месторождений	Геохимическая ассоциация
Апатитовые	P-Sr-Ce-La-Y-Yb-Zr-Nb-Mo-Pb-Ba-Sn- -Ni-Co-Zn-Cr-V-Sc-Ga-Mn
Кимберлиты	Co-Ni-Cr-Pb-Zn-Ag-Cu-B-Mo-Sn
Редкометалльные пегматиты	Li-Pb-Cs-Nb-Sn-Ta-W-Be-As
Железорудные в скарнах	Mn-Pb-Cu-Zn-Ni-V-Sn-Sr-B-Zr-Mo- -Co-Fe-Ti-Cr-Y-Sc
Медно-никелевые	Cu-Ni-Co-Ba-Pb-Zn-Ag-Bi-Sn-Be-W-Zr
Вольфраммолибденовые в скарнах	Ba-Ag-Pb-Zn-Sn-Cu-W-Mo-Co-Ni-Be- V-Y
Висмутовые в скарнах	As-Pb-Ag-Zn-Co-Cu-Bi-Ni
Оловорудные	Sn-Pb-As-Cu-Bi-Zn-Ag-Mo-Co-Ni-W
Полиметаллические в скарнах	Sb-Cd-Ag-Pb-Cu-Ni-Bi-Co-Mo-Sn-W-Be
Золоторудные	Au-Sb-As-Ag-Pb-Zn-Mo-Cu-Ni-Bi-Co- -W-Be
Медно-порфировые	Ba-As-Sb-Ag-Pb-Zn-Au-Bi-Cu-Mo-Sn- -Co-W-Be
Медные	Ba-As-Pb-Zn-Ag-Sn-Cu-Bi-Co-Ni-Mo
Медно-молибденовые	Cu-Mo-As-Ag-Pb-Zn-Bi-Co-Ni-Be-W
Сурьмяно-ртутные	Sb-Hg-As-Cu-Ag-Pb-Zn-Be-Co-Ni-W-Sn
Ртутные	Hg-Ba-Ag-Pb-Zn-Cu-Co-Ni-Sn-Mo-W
Стратиморфные свинцово-цинковые	Ba-As-Cu-Ag-Pb-Zn-Co-Ni-Be-V
Медистые песчаники	Cu-Ag-Pb-Ba-Bi-W-Cr-Zn-Mo

Масштабы техногенных аномалий порой многократно превышают естественные аномалии и поэтому оказываются особенно опасными для жизнедеятельности человека. Проследить пространственные изменения концентрации свинца в результате загрязнения от воздействия промышленного предприятия можно, изучая его содержание в

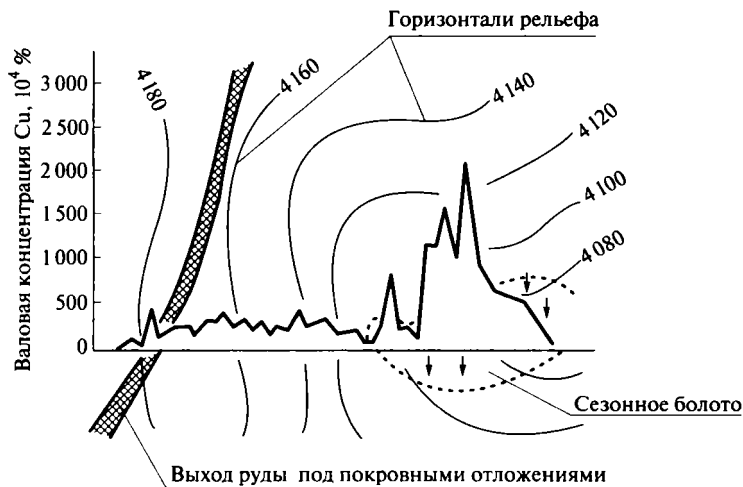


Рис. 8.15. Аккумуляция меди в почвах сезонно заболачиваемой депрессии рельефа за счет выноса металлов из залежи руд, Замбия (по Дж. Уэббу и Дж.Тумсу, 1959)

волосах детей (рис. 8.18). Даже на расстоянии 3 км от предприятия содержание свинца в волосах детей остается повышенным.

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.

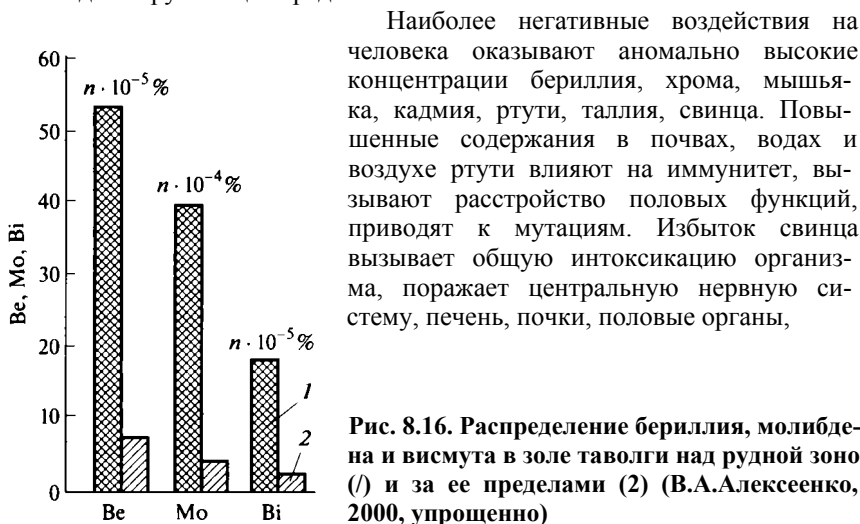
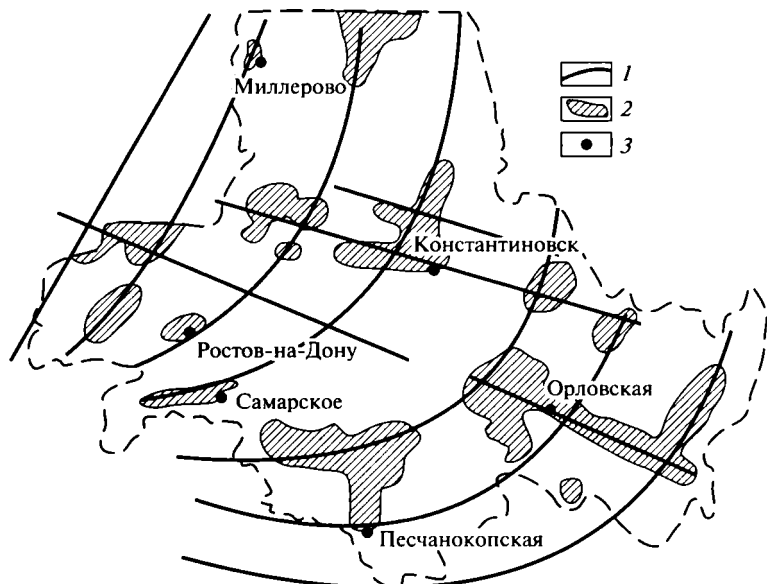


Рис. 8.16. Распределение бериллия, молибдена и висмута в золе таволги над рудной зоной (1) и за ее пределами (2) (В.А.Алексеев, 2000, упрощенно)



**Рис. 8.17. Связь природных региональных аномалий в почвах сельскохозяйственных ландшафтов с рудоносными структурами (на примере Ростовской области) (по В. А. Алексеев, 2000):**

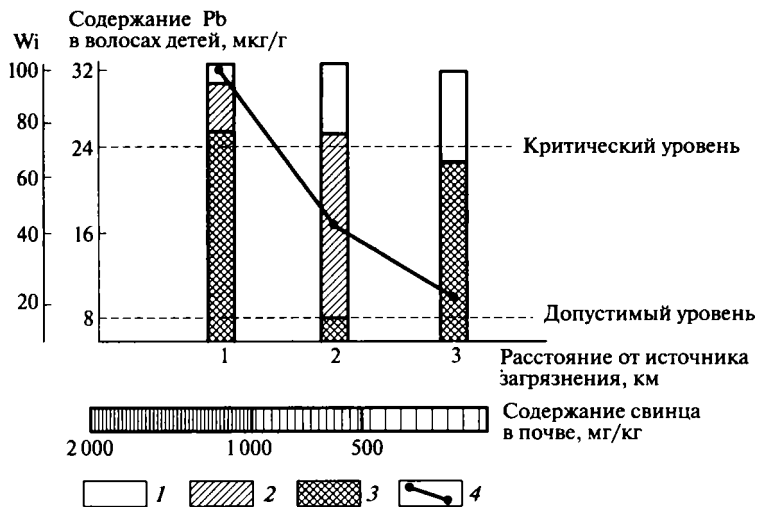
/ — разломы; 2 — контуры геохимических аномалий; 3 — населенные пункты

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.

**Таблица 8.4. Преобладающие ассоциации геохимических аномалий, связанные с различными типами производств**

Типы промышленных производств	Элемент-индикатор
Черная металлургия	Mn, Cr, V, Fe, W
Транспорт	Pb, Ni, Cr, V, Cu, Zn
Птицефабрика	Zn, W, Sr, Cu, Ag



**Рис. 8.18.** Распределение свинца в волосах детей в зоне влияния выбросов свинцово-кадмиевого комбината (Геохимия окружающей среды, 1990). Wi — частота встречаемости детей с содержанием свинца в волосах (в мкг/г): / — менее 8; 2 — 8 — 24; 3 — более 24; 4 — среднее содержание свинца

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 желательно 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.

**Геофизические аномалии.** К *естественным геофизическим аномалиям* относятся магнитное, электрическое, акустическое, вибрационное, гравитационное и радиационное поля. Геофизические аномалии могут быть обусловлены различными геологическими структурами, рудными залежами.

Техногенные источники создают электромагнитное, акустическое, гравитационное, радиоактивное, вибрационное, шумовое поля.

*Магнитные поля* имеют различное происхождение, они возникают в результате скопления горных пород с магнитными свойствами. Активные явления на Солнце вызывают магнитные бури, перераспределение теллурических токов в геологической среде и т.д. Магнитное поле относится к сильному и специфическому раздражителю, действующему непосредственно на нервные клетки мозга.

*Электрические поля* возникают в результате грозových разрядов, окислительно-восстановительных процессов в пределах месторождений, электромагнитного излучения Солнца и др.

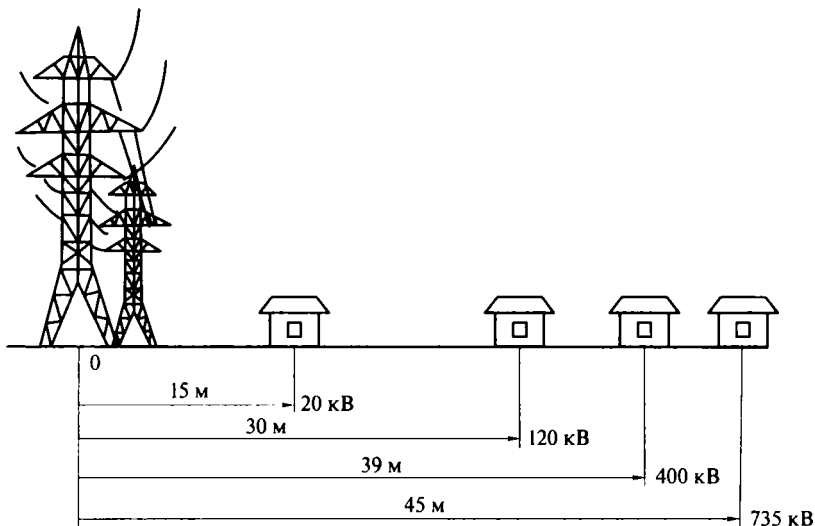
Например, в зоне окисления сульфидных месторождений практически всегда возникает сложная система электрических и температурных полей.

Высокую напряженность, иногда опасную для жизни, создают электромагнитные поля мощных радиопередающих устройств, линии высоковольтных передач (рис. 8.19). Напряженность электрических полей многократно превышает мощность, создаваемую при проведении электроразведочных работ на рудных полях.

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 антропогенного





**Рис. 8.19.** Ширина области опасного воздействия электромагнитного излучения высоковольтных линий электропередач в зависимости от напряжения ЛЭП (по В. А. Богословскому и др., 2000)

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.

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.

*Радиоактивность* возникает за счет излучения, приходящего к поверхности планеты из дальнего космоса и наличия в земной коре радиоактивных элементов. В районах распространения руды с боль-

шим содержанием радионуклидов радиационный фон, как правило, в 100—1 000 раз выше, чем на прилегающих территориях.

*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 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 две-три 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 ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{85}\text{Rb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ), а также ряд радиоактивных нестабильных изотопов, которые возникают в результате радиоактивного распада (рис. 8.20). 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 привносят 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 на-

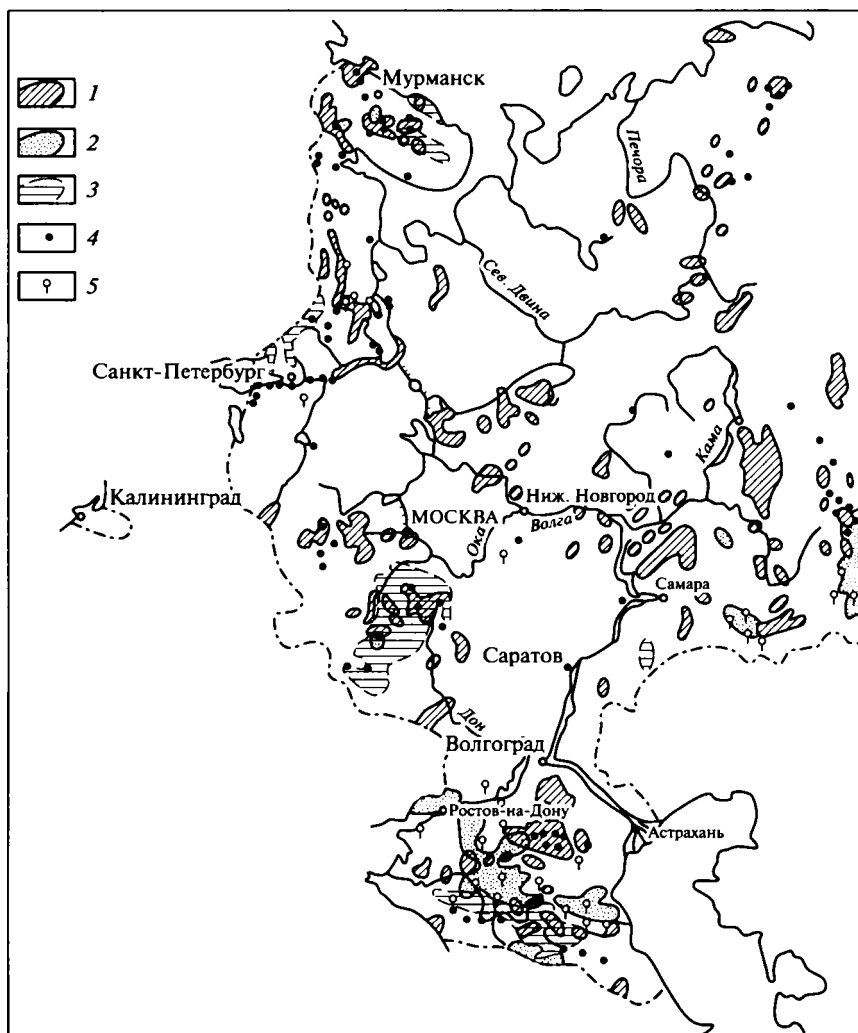


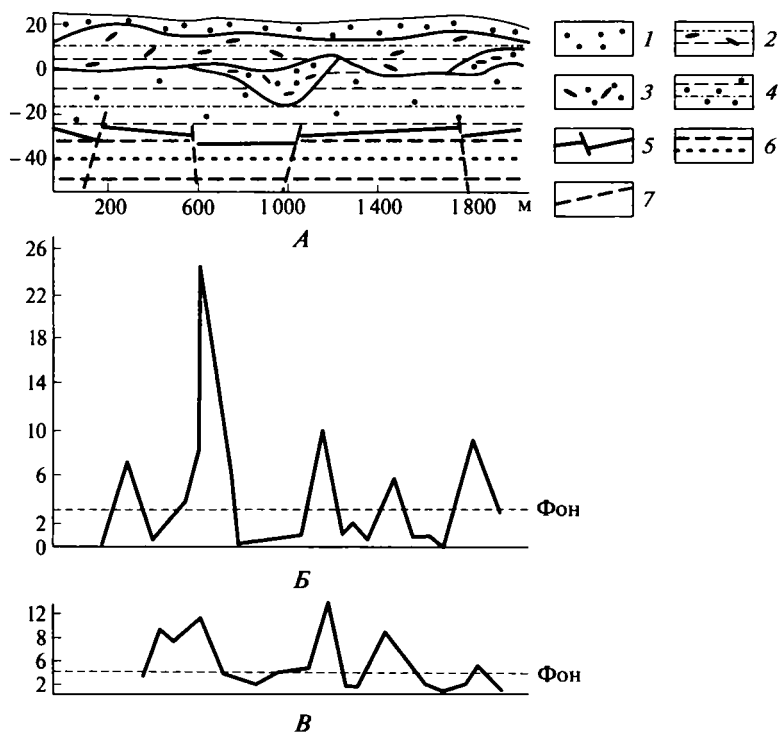
Рис. 8.20. Схема полей повышенных по отношению к фону содержаний естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) в геологических объектах (по Е. Б. Высокоостровской и А. И. Краснову, из кн. Экогеология России. — Т. 1, 2000):

/ —  $^{238}\text{U}$  в горных породах и почвах; 2 —  $^{232}\text{Th}$  и  $^{235}\text{U}$  в поверхностных отложениях; 3 —  $^{238}\text{U}$  в поверхностных водах; 4 — месторождения и рудопроявления урана; 5 — радоновые источники (удельная объемная активность  $^{222}\text{Rn} > 185 \text{ Бк/л}$ )

капливается 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 (рис. 8.21).

Общее представление о концентрации радона в строительных материалах, используемых в разных странах, дают сведения, помещенные в табл. 8.5.

Несмотря на то что на долю искусственных источников радиации приходится всего около 20 % всего среднегодового количества ра-



**Рис. 8.21. Сопоставление частоты онкозаболеваемости с концентрацией радона в почве и зонами тектонических нарушений (по П. И. Мельникову и др., 1994, по кн. Теория и методология... 1997):**

*А* — фрагмент геологического разреза по линии метрополитена (1 — постледниковые пески и супеси; 2 — супеси и суглинки лужской морены; 3 — обводненные гравийно-песчаные отложения межледниковых палеорусел; 4 — супеси и суглинки московской морены; 5 — кора выветривания вендских отложений; 6 — песчано-глинистые отложения котлинского горизонта венда; 7 — зона тектонических нарушений); *Б* — частота онкозаболеваний в доме, на 1 000 чел./год; *В* — концентрация радона в почве, КБк/м<sup>3</sup>

**Т а б л и ц а 8.5. 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
Зольная пыль	Германия	341
Глинозем	Швеция (1974-1979)	496
Глинозем	Швеция (1929— 1975)	1367
Фосфогипс	Германия	574
Силикокальциевый шлак	США	2 140
Отходы урановых обогатительных фабрик	США	4 625

диации, 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 (рис. 8.22). Но техногенные источники разнообразны. Это не только ядерное оружие и ядерное топливо атомных электростанций (рис. 8.23), 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.

*Вибрационные поля* создаются как природными, так и техногенными факторами. К первым относятся упругие сейсмические колебания, действие прибоа, 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 утомляемо-



Рис. 8.22. Количественные соотношения ионизирующего излучения, получаемого людьми от разных источников (Павлов, 1998)

сти, 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).

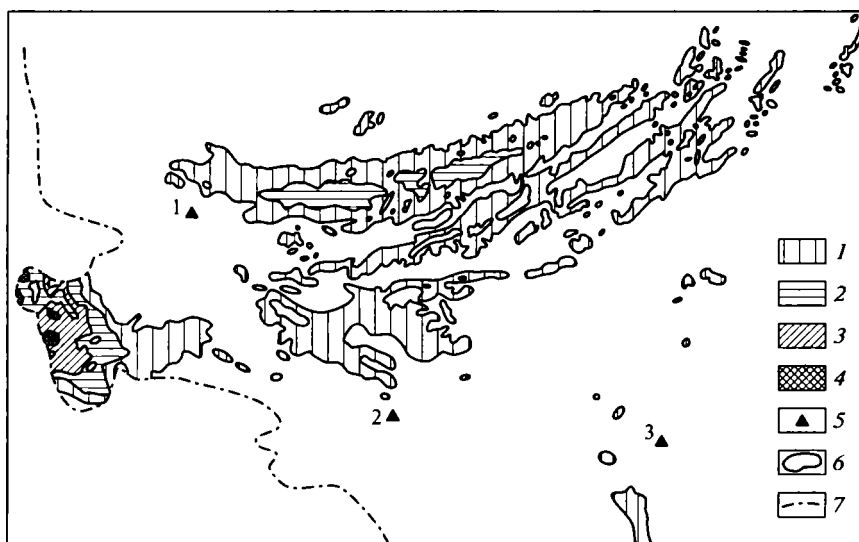


Рис. 8.23. Плотность поверхностного загрязнения европейской части России радиоактивным  $^{137}\text{Cs}$  в результате Чернобыльской катастрофы (Экогеология России. — Т. 1, 2000). Плотность загрязнения, Ки/км<sup>2</sup>:

1 — 1—5; 2 — 5—15; 3 — 15—40; 4 — более 40; 5 — действующие АЭС (1 — Смоленская; 2 — Курская; 3 — Нововоронежская); 6 — границы районов с разной плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ ; 7 — граница Российской Федерации

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).

*Шумовое загрязнение* приводит к снижению производительности труда, слуха, возникновению гипертонии и аритмии, поражению нервной системы и другим негативным последствиям. Наиболее распространенными симптомами шумового воздействия являются раздражительность, усталость, рассеянность и, как следствие, невроз. Воздействие шума определяется его интенсивностью, которая определяется в децибелах (дБ), и продолжительностью.

Нормальным уровнем шума для человека около зданий днем считается 55 дБ, ночью — 45 дБ. Допускается кратковременный шум 80 дБ. Более сильный шум вреден. Шумовое загрязнение наиболее характерно для большинства городов, где значительную лепту вносят транспортные магистрали, самолеты, промышленные предприятия и др. (табл. 8.6).

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 мощность 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 распределяются 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.

Проиллюстрируем изложенное 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

**Таблица 8.6. Реакция организма на акустическое воздействие разной интенсивности (по Ю.Л.Хотунцеву, 2004, с изм.)**

Источник акустического воздействия	Уровень звука, дБ	Реакция организма на длительное акустическое воздействие
Зимний лес в безветренную погоду	0	Успокаивает
Шум листвы, прибоя	20	
Средней силы звуки в квартире	40	Гигиеническая норма
Шум внутри здания, расположенного вблизи автомагистрали	60	Появляются чувство раздражения, утомляемость, головная боль
Телевизор	70	
Поезд (в метро)	80	
Мотоцикл	90	
Поезд	100	Постепенное ослабление слуха, угнетенность, возбужденность, язвенная болезнь, гипертония
Шум на текстильной фабрике	110	
Звук плеера	114	Нарушается сон и психическое здоровье, ведет к глухоте
Отбойный молоток	120	
Крупный реактивный самолет	155	
Шум на дискотеке	175	

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.

## 8.6. 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 укладывается 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, составляющих геологическую среду. Это действие в природных условиях осуществляют процессы выветривания, поверхностные и подземные воды и ветер; 2) перемещение дезинтегрированного материала — аналог денудации и транспортировки в процессах экзогенной геодинамики; 3) накопление перемещенного материала (дамбы, плотины, транспортные артерии, населенные пункты и промышленные предприятия) — 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.

**Создание антропогенных ландшафтов.** Ландшафт обусловлен определенными параметрами тепла и влаги на разных крупных элементах рельефа со специфическим геологическим строением. Вследствие активной хозяйственной деятельности человека естественные ландшафты преобразованы практически полностью. Современные ландшафты — это территориальные комплексы, сложившиеся в результате трансформирования естественных ландшафтов деятельностью человека.

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 случаях в результате аккумуляции материала создаются разнообразные аккумулятивные формы рельефа — мелкогрядовый, холмистый, техногенно-расчлененный, террасированный.

По степени антропогенной трансформации современные ландшафты Земли могут быть разделены на две группы: коренные и природно-антропогенные. *Коренные (первичные) ландшафты* — зональные типы ландшафта, не подвергшиеся прямому воздействию хозяйственной деятельности человека. Это пустыни, часть высокогорных районов, заповедники и др. *Природно-антропогенные ландшафты* делятся на вторично-производные, антропогенно-модифицированные и техногенные. *Вторично-производные ландшафты* — это природно-антропогенные ландшафты, сформировавшиеся на месте первичных в результате хозяйственной деятельности и существующие в относительно устойчивом состоянии длительное время благодаря естественным процессам саморегулирования (мелколиственные леса Русской равнины, саванны и др.). *Антропогенно-модифицированные и техногенные ландшафты* — это природные системы с весьма высокой степенью трансформации, управляемые преимущественно деятельностью человека. Они 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 фунтовых 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 фунта и горных пород обычно сопровождается обильным водопритокom за счет подземных вод, дренирующих с разных горизонтов горных выработок. В результате этого создаются огромные депрессионные воронки, снижающие уровень фунтовых вод в районе горно-промышленных объектов. Это приводит, с одной стороны, к заполнению карьеров и выемок водой, а с другой, когда происходит снижение уровня фунтовых 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 фунтовых вод. Заполнение водохранилищ и подъем уровня воды до высоты верхнего бьефа плотин приводит к подъему уровня фунтовых 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** занимает на Земле около 15 % площади всей суши. Он создан более 5 тыс. лет 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 приносу 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 *польдеры* — бывшее дно шельфа морей с расположенными на них садами и полями. Польдерные 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 на-

сыпей 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.). Своеобразный 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 бывшего природного ландшафта и существовавшего почвенно-растительного покрова на местах открытой разработки месторождений полезных ископаемых, мест военных действий и военных учений и т.д.

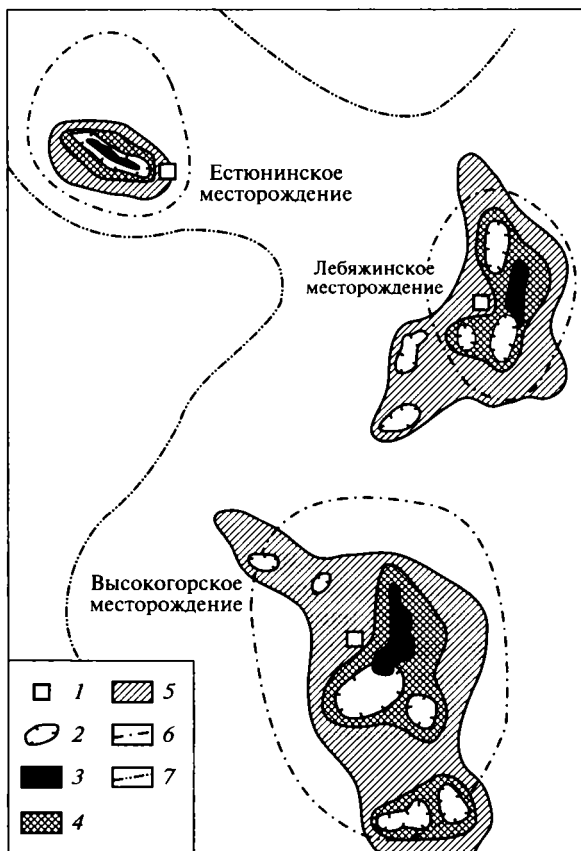
**Активизация процессов экзогенной геодинамики в результате антропогенной деятельности.** Активная хозяйственная деятельность человека не только преобразует природные ландшафты, но способствует развитию и более энергичному проявлению процессов экзогенной, а в ряде случаев и эндогенной геодинамики.

Проездка 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 (рис. 8.24).

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.



**Рис. 8.24. Расположение провалов и мульд оседания над подземными выработками Нижнетагильского железорудного комплекса (по данным А. С. Зайцева, Л. П. Грибановой и З. Г. Устиновой, из кн. Экологическая гео-динамика, 2008):**

/ — шахты; 2 — карьеры; 3 — провалы при подземной разработке месторождений; 4 — мульды отседания; 5 — зона изменения свойств массивов пород в связи с разгрузкой, осушением и вибрационными воздействиями; 6 — граница интенсивного снижения напоров подземных вод на величину от 25 до 5 000 м (в центральной части воронка); 7 — границы территории с интенсивно нарушенным режимом подземных вод

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 фунтах, выведенных на поверхность и подвергающихся тепловому воздействию, активизируются криоген-

ные процессы. Увеличивается скорость вытаявания подземных вод; происходит разжижение грунтов; образуются термокарсты, 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.

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 — микроскопические, малые, большие, по генезису — 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 подземных вод. Это влияет на интенсивность протекания экологически неблагоприятных экзогенных процессов — мерзлотного выветривания и криогенных процессов, оврагообразования, карстообразования, гравитационных склоновых процессов.

*Кливаж* (от фр. *cliage* — 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 1 000 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 распространены кольцевые структуры сложного полигенного происхождения. Они отличаются своеобразным расположением элементов рельефа на земной поверхности. Экологическая роль линеаментов 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 рассекают 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 гражданских, промышленных и военных объектов со всеми вытекающими последствиями.

*Инженерно-геологическая деятельность* приводит к нарушениям 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), рождают горные удары и внезапные выбросы, разрушают инженерные сооружения.

**Опускания земной поверхности**, вызванные техногенной деятельностью, наблюдаются на многих территориях промышленных и городских агломераций на фоне природных тектонических перемещений земной поверхности. 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 (см. рис. 8.24). 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.

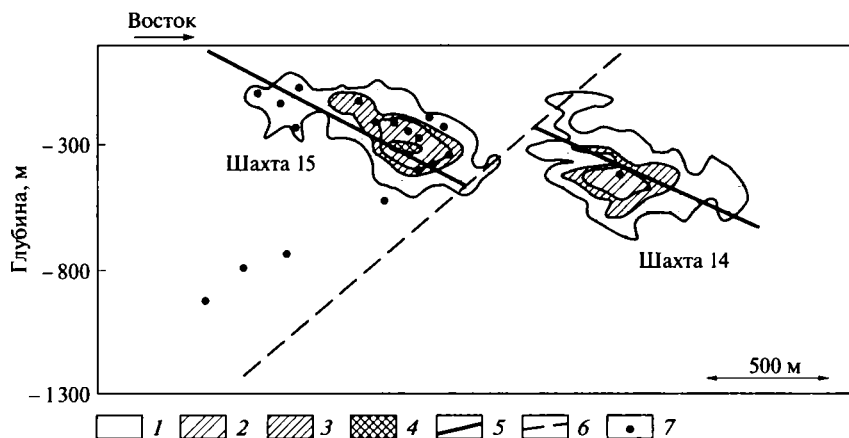
В России проблема проседания связана в первую очередь с обширными территориями. Особенно актуальна она для Западной Сибири, где добывают жидкие и газообразные углеводороды, Западного Приуралья, Поволжья и Прикаспия, а также для Кольского полуострова, на территории которого расположены многочисленные 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* состоит в том, что вследствие антропогенного вмешательства в геологическую 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.

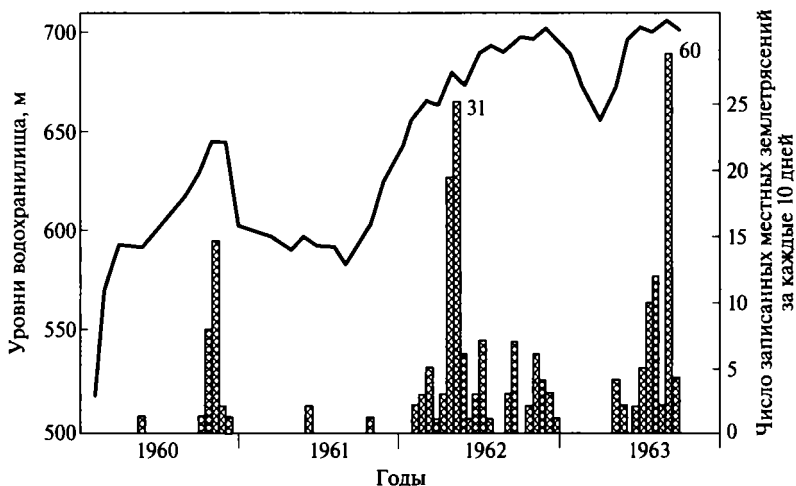
Возможность проявления наведенной сейсмичности резко возрастает, если антропогенному воздействию подвергается зона глубинного разлома, вдоль которой генерируются очаги возбужденных землетрясений (рис. 8.25). Изменение естественного напряженного состояния геологической среды приводит к регенерации отдельных 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 (рис. 8.26), шахты и карьеры, районы за-



**Рис. 8.25.** Схематический разрез через шахтные поля 14 и 15 СУБРа (по кн. *Изменение окружающей среды и климата, 2007*). Плотность распределения сейсмических событий (на 50 м<sup>2</sup>):

/ — до 25; 2 — 25 — 50; 3 — 50 — 75; 4 — более 75; 5 — положение рудных тел; 6 — основное тектоническое нарушение; 7 — положение гипоцентров сильнейших горно-тектонических ударов

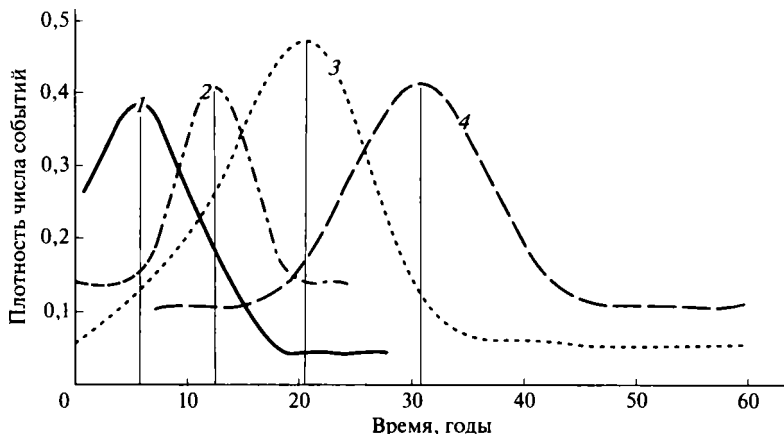


**Рис. 8.26.** Соотношение изменений уровня воды в водохранилище Вайонт (Италия) и числа возбужденных местных землетрясений (по П. Калои, из кн. М.И.Бахтеева, 1997)

качки 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 ранее.

Промышленные центры, так же как игорные 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 (рис. 8.27). 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 3 670 м, пробуренную в докембрийских гнейсах. Очаги находились на глубине 4,5 — 5,5 км, а эпицентры — вблизи скважины вдоль проходившего недалеко разрывного нарушения.



**Рис. 8.27. Зависимость времени, прошедшего от начала разработки месторождений углеводородов до появления техногенных землетрясений (по кн. Изменение окружающей среды и климата, 2007). Время:**

1 — с начала закачки до появления сейсмичности; 2 — с начала закачки до максимального землетрясения; 3 — с начала разработки до появления сейсмичности; 4 — с начала разработки до максимального землетрясения

На Ромашкинском месторождении нефти в Татарии в результате многолетнего законтурного 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 м<sup>3</sup> воды в Газлийскую нефтегазоносную 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 на-

веденные афтершоки. Так, взрывы подземных ядерных зарядов на полигоне в штате Невада (США) с тротильным 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  $10^{12}$  Дж при энергии самого взрыва  $10^6$ —  $10^{10}$  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 снаряда 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. м<sup>3</sup> 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 комплекс 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 определяется влиянием геофизических полей разной интенсивности и природы и геохимических аномалий на жизнедеятельность организмов. Эндегенные 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 период антропогенной деятельности?

## **ЛИТЕРАТУРА**

- Алексеев В.А.* Экологическая геохимия. — М., 2000.
- Богдановский Г.А.* Химическая экология. — М., 1994.
- Богословский В.А.* Экологическая геофизика / В.А. Богословский, А.Д. Жигалин, В.К. Хмелевской. — М., 2000.
- Вахромеев Г. С.* Экологическая геофизика. — Иркутск, 1995.
- Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. — М.: ИГЕМ РАН, 2007.
- Ковальский В. В.* Геохимическая экология. — М., 1977.
- Королев В. А.* Геоэкологическая оценка зон влияния инженерных сооружений на геологическую среду / В. А. Королев, С. К. Николаева // Геоэкология. — 1994. — № 5.
- Короновский Н.В.* Общая геология. — М., 2010.
- Лукашев В. К.* Геологические аспекты окружающей среды. — Минск, 1980.
- Трофимов В. Т.* Экологическая геодинамика / В. Т. Трофимов, М. А. Харькина, И. Ю. Григорьева. — М., 2008.
- Щетников И.А.* Цунами. — М., 1981.
- Экогеология России. Т. 1. Европейская часть. — М., 2000.



# 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. Для защиты этих жизненно важных органов у позвоночных развился 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 эвкариот существенно меняются функции и условия взаимодействия биосферы с другими геосферами. На протяжении длительного времени (3,5 — 0,65 млрд лет) совместно существовали прокариотные и эвкариотные 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 для 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 назад. В это же время началось выделение приматов. Около 35 — 40 млн лет назад возникли антропоиды. Среди них около 5 млн лет назад появились гоминоиды, 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. Ярошевский и другие исследователи развили его учение. В первой половине XX в. Вернадский выделил девять биогеохимических функций живого ве-

щества: 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 больших

количеств теплоты. На суше самым мощным насосом, перераспределяющим влагу и теплоту в атмосфере, являются влажнотропические 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 выхолаживанию 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:

<b>Приход солнечной энергии.....</b>	<b>3,6 • 10<sup>24</sup></b>
<b>Потеря энергии в форме коротковолнового излучения...</b>	<b>1,0 • 10<sup>24</sup></b>
<b>Поглощение энергии земной поверхностью.....</b>	<b>1,7 • 10<sup>24</sup></b>
<b>В том числе:</b>	
<b>на транспирацию.....</b>	<b>0,115 ■ 10<sup>24</sup></b>
<b>на синтез валовой первичной продукции суши.....</b>	<b>0,05 • 10<sup>24</sup></b>
<b>на синтез первичной продукции океана.....</b>	<b>0,16 ■ 10<sup>24</sup></b>
<b>Производство первичной энергии человечеством.....</b>	<b>0,47 • 10<sup>21</sup></b>
<b>Кондуктивный тепловой поток из земных недр.....</b>	<b>0,8 • 10<sup>21</sup></b>

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 являются почвы, по-

верхностные 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, фоссиллизация 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 аккумулированной 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.Ронова,  $11,8 \cdot 10^{21}$  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 в осадочных породах и, наконец, ее захоронение в форме поверхностной энергии частиц и энергии, аккумулированной в кристаллической решетке. В глинах, по данным С. П. Горшкова, запас энергии может составлять от 21 до 1 068 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 аккумулирование биокосными телами; депонирование органического вещества в различных формах биогеохимической энергии.

**Таблица 9.1. Запасы органического вещества и значение аккумулированной энергии**

Природные резервуары	Масса ОВ в сухом состоянии, $10^{15}$ г	Энергия, $10^{21}$ Дж
Почвенная подстилка	202	4,2
Почвенный гумус	2 846	59,8
Почвенные воды	66	1,4
Болотные воды	46	1,0
Реки, озера, водохранилища	4	0,8
Мировой океан	3 660	76,9
Подземные воды	5 000	105,0
Ледники и подземные льды	51	1,1
Донные осадки океана	445	9,3
<b>Итого</b>	<b>12 320</b>	<b>259,5</b>

**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 — фоссилируют 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. Ронova 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 в почвах, илах и торфяниках метанообразующими бактериями, которые для этого используют углекислый газ. Например, на рисовых полях при температуре 30 °С ежесуточно образуется до 0,2 г  $\text{CH}_4$  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 15 г метана, а лошадь или корова — 100 — 200 г. Одними из главных продуцентов этого газа являются термиты.

Ежегодные поступления метана ( $10^{15}$  г) из биогенных источников выглядят следующим образом:

<b>Болота, тундра, торфяники, топи, илы.....</b>	<b>110—150</b>
<b>Рисовые поля.....</b>	<b>110—120</b>
<b>Термиты.....</b>	<b>40—50</b>
<b>Домашние животные.....</b>	<b>100—150</b>
<b>Дикие животные.....</b>	<b>100—120</b>
<b>Мировой океан и пресные воды.....</b>	<b>200</b>
<b>Брожение и гниение твердых и жидких отходов.....</b>	<b>25—100</b>

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 выветривания принимают участие растения, как низшие, так и высшие, и особенно микроор-



ганизмы. 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 фонд минерального питания растений, преобразуют пористую водоемкую структуру почвы. Особенно большую по масштабам и значению работу проводят дождевые черви. Они непрерывно перерабатывают почву и создают копролиты. Последние представляют собой высокопрочные органоминеральные 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 каолинитовая кора выветривания. Там, где существует ослабленный термический режим, как, например, в умеренном поясе, формируются гидрослюдистые и реже монтмориллоновые 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 — *силькредты*. При несколько лучшем увлажнении в полупустынях и в сухой саванне формируется аккумулятивная карбонатная кора — *калине*. В аридных и семиаридных условиях часто возникает своеобразная гипсовая кора — *гажа*. В условиях 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 увлажненности 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 км<sup>3</sup> воды. Несколько иные сведения дает 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 пеллеты — пищевые комки, которые вследствие своей большей массы и размеров осаждаются на дно. Однако, прежде чем дойти до дна, пеллеты повторно и многократно используются в качестве пищи более глубоководными организмами, в том числе и активно плавающими (нектоном). В осаждении тонкого материала на дно морей и океанов большую роль играют не только процессы биофильтрации, но и коагуляции глинистых частиц при изменении pH 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 фунт» представляет собой единый емкий резервуар влаги. Из этого коллектора идет подпитка ручьев и рек, крупных рек, мелких и крупных водоемов. Вследствие этого на реках лесных территорий паводки обычно ниже и случаются реже, чем на безлесых 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 безлесыми 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. Горшков, 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 кон-

центрированной 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 несколько микрометров, 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 концентрацию в окружающей среде: марганца — в 1,2 млн раз, железа — в 650 тыс. раз, ванадия — в 420 тыс. раз, серебра — в 240 тыс. 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, В 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 8 000, 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 огромные 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: активную, называемую 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), и пассивную, когда перемещение биомассы осуществляется потоками воздуха, поверхностными и грунтовыми водами (воздушным путем переносятся многие семена, ветрами — шароподобные массы сухой травы). 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, 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 количество организмов, населяющих Землю, весьма велико. Считается, что на Земле существуют одновременно от 5 до 80 млн видов организмов, значительную часть которых составляют насекомые, бактерии и вирусы. Более или менее четкая таксономическая принадлежность установлена всего для 1,5 млн видов. Из этого количества около 750 тыс. составляют насекомые, 41 тыс. — позвоночные и около 25 тыс. — 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 пять 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 7 тыс. 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.

Деятельность человека приводит к уменьшению биоразнообразия и исчезновению многих организмов, населяющих Землю (рис. 9.1). Проблема сохранения биоразнообразия во многом связана с сохранением лесов, поскольку многие виды обитают только в каком-то конкретном районе планеты, как правило в тропиках. Скорость исчезновения отдельных видов млекопитающих в XX в. в 40 раз превышала максимальные скорости, зафиксированные в геологическом прошлом. За последние 400 лет исчезли почти 500 видов животных и более 600 видов растений. Более 16 тыс. видов находятся под угрозой вымирания (рис. 9.2). За последние 400 лет основными причинами исчезновения животных были: интродукция новых видов, спрово-



Рис. 9.1. Количество особей голубого тунца в Западной Атлантике (за последние 10 лет сократилось на 94 %) (из кн. Ю.Л.Хотунцева, 2004)

ждавшаяся вытеснением или истреблением местных видов; разрушение условий существования, таких как потеря территорий, заселенных животными; неконтролируемая охота и др.

Исчезновение одного вида высших растений влечет за собой исчезновение до 30 видов беспозвоночных животных, связанных с ним.

Лесные экосистемы занимают около 30 % суши (для сравнения: 10 тыс. лет назад — 60 %) и содержат более 80 % биомассы. Преобладают два лесных пояса: северный (хвойные леса) и южный (влажные тропические леса). В настоящее время лесные ресурсы Земли быстро сокращаются из-за деятельности человека (рис. 9.3). За последние 100 лет площадь тропических лесов сократилась с 12 до 7 %

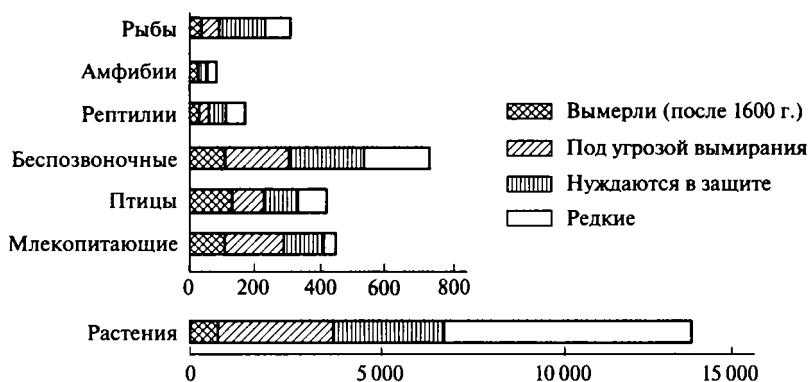


Рис. 9.2. Количество уничтоженных и находящихся под угрозой уничтожения видов (Мат-лы конф. ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 1992, по кн. Н. В. Чебышева, А. В. Филипповой, 2004)

Районы гибели лесов, млн га  
(годовая величина)

Среднегодовой %  
гибели лесов

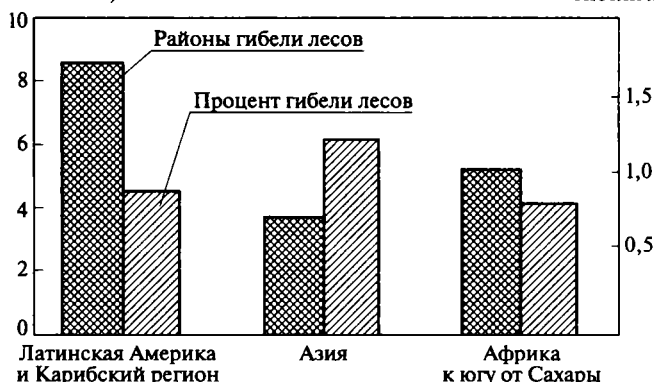


Рис. 9.3. Уничтожение тропических лесов в развивающихся странах (1980 — 1990 гг.) (Мат-лы конф. ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 1992, по кн. Н. В. Чебышева, А. В. Филипповой, 2004)

площади суши (рис. 9.4), что вызвано как экономическими, так и биологическими причинами. Тропические леса вырубают на топливо, древесина идет на экспорт, который с 1950 г. увеличился в 16 раз, выжигают для расширения площадей под посевы. Процесс восста-

Площадь сохранившихся  
лесных массивов, млн. га

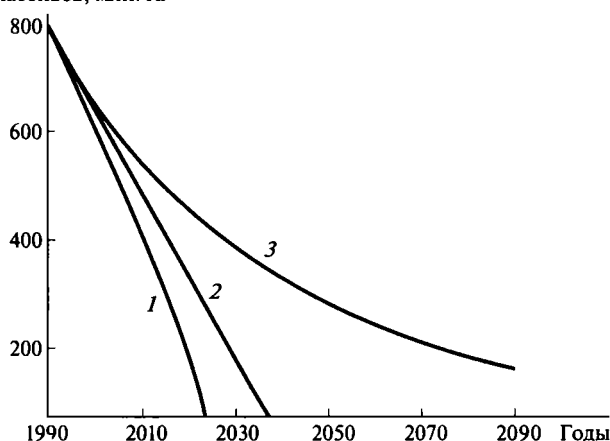


Рис. 9.4. Некоторые возможные сценарии сокращения тропических лесов (по кн. Ю.Л.Хотунцева, 2004):

1 — экспоненциально растущие темпы сведения лесов; 2 — линейно растущие темпы; 3 — экспоненциально снижающиеся темпы сведения лесов



новления тропических лесов идет чрезвычайно медленно, а вторичные леса, вырастающие на месте первичных, намного беднее по видовому составу, меньше по биомассе и продуктивности.

Целый ряд органических сообществ, групп видов и отдельные виды определенным образом реагируют на различные антропогенные нагрузки. Степень реагирования живых экосистем на антропогенную нагрузку носит название *биоиндикации*. Функции индикатора выполняет 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 хими-

ческий 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 физико-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 нейтра-

лизуют 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.

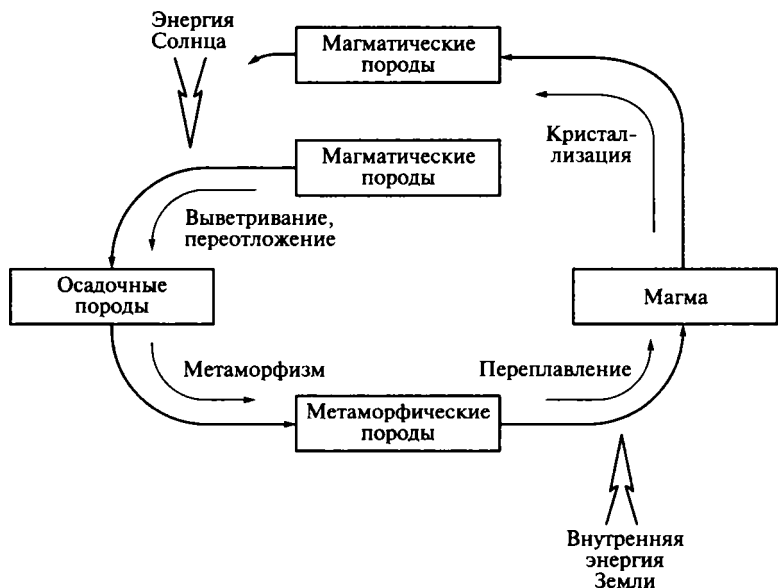
## 9.4. Круговороты веществ в биосфере

Биосферный и биологический круговороты. Все вещества на нашей планете находятся в состоянии постоянного круговорота. Солнечная энергия вызывает на Земле круговороты веществ.

Выделяют большой геологический, биосферный и малый биологический круговороты. Геологический круговорот длится миллионы лет.

Геологический круговорот обуславливает разрушение, миграцию и аккумуляцию химических соединений и веществ (рис. 9.5). 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 обусловил геологический круговорот 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 круговорот веществ включились продукты жизнедеятельности организмов, и, таким образом, геологический круговорот 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. Круговорот, охватывающий всю биосферу, называется биосферным.

Большой круговорот веществ в биосфере характеризуется двумя важными особенностями. Во-первых, он осуществляется на протя-



**Рис. 9.5. Большой круговорот веществ**

жении всей истории существования биосферы, т.е. начиная по крайней мере с 3,8 — 4,0 млрд лет назад. Во-вторых, он представляет собой современный планетарный процесс, играющий важную роль в дальнейшем существовании и развитии биосферы.

Перемещающееся в геологическом круговороте неорганическое вещество является своеобразным резервным фондом для биологической ветви биосферного круговорота. 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 органоминеральных веществ, часть из которых находится в верхних горизонтах и почвах. С атмосферой и гидросферой связан в основном транзитный цикл круговорота, а с литосферой и частично с гидросферой — аккумулятивный, или осадочный.

Малый, или биологический, круговорот 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 круговорота веществ, образуют другую глобальную систему.

Особенность биологического круговорота заключается в течении трех противоположных, но взаимосвязанных процессов: формирование органического вещества, его разрушение и перераспределение. Начальный этап возникновения органического вещества обусловлен 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.

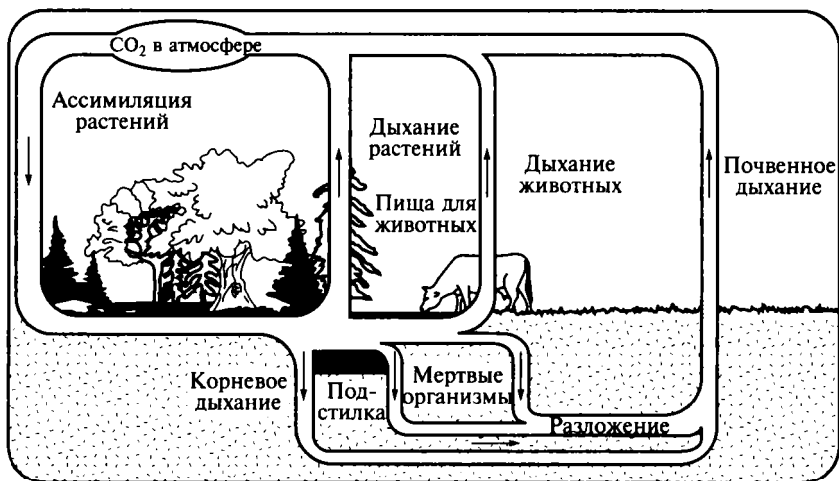
Продолжительность круговоротов тех или иных веществ в разных системах чрезвычайно различна. Установлено, что полный оборот углекислого газа в атмосфере через фотосинтез составляет около 300 лет, кислорода атмосферы и тоже через фотосинтез — 2 000 — 2 500 лет, азота атмосферы через биологическую фиксацию 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. 9.6). 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 угольную кислоту. 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 соединений, в



**Рис. 9.6. Биологический круговорот углерода**

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.

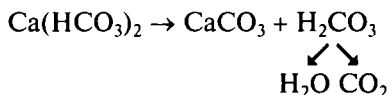
Рассматривая глобальное преобразование органического углерода и интенсивное его захоронение в болотах, пойменно-старичных условиях, лагунах, манграх, морских бассейнах и пресноводных водоемах, надо признать, что данный процесс осуществлялся на Земле в период всей биологической эволюции биосферы, причем 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, образовав месторождения полезных ископаемых. Общая масса углерода, которая захоронена в форме горючих полезных ископаемых, оценивается более чем в 100000 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 производится 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  $\text{CO}_2$  в атмосфере, региональное или сезонное охлаждение вод — все это сопровождается немедленным увеличением концентрации углекислого газа в воде и растворов гидрокарбоната 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 за-



хвата и связывания избыточного количества углекислого газа, переводя его в растворимые бикарбонаты и осаждая в виде карбоната кальция, а также путем образования биомассы живого вещества с карбонатным скелетом.

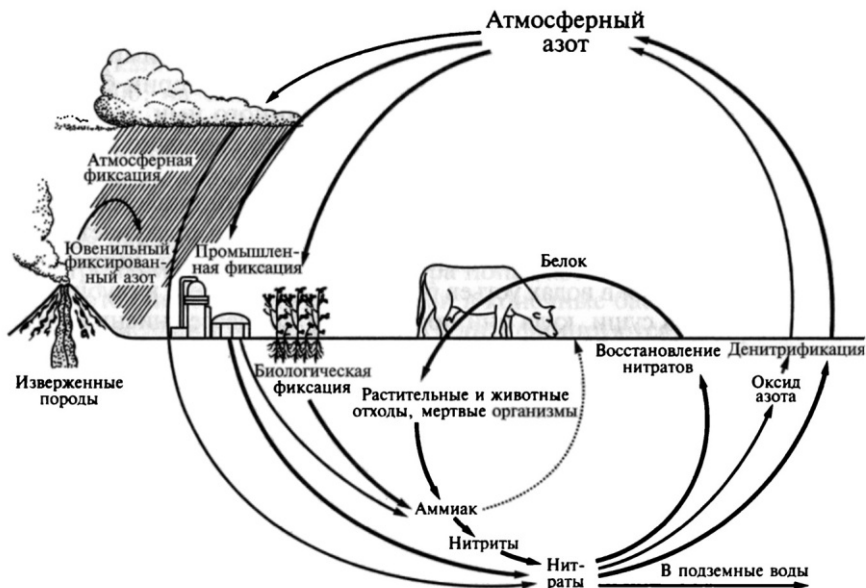
Круговорот углерода продолжает контролировать содержание кислорода в атмосфере. При этом общую массу кислорода М. И. Будыко и А. Б. Ронов оценивают в  $1,2 \cdot 10^6$  млрд т. Общепланетарный расход кислорода на сжигание органического топлива составляет около 15 млрд т ежегодно. Это почти на порядок 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 кислорода 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 СО в верхние слои атмосферы, где в присутствии диоксида азота и озона он окисляется до  $\text{CO}_2$ . 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. 9.7). 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



**Рис. 9.7. Круговорот азота в биосфере**

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  $0,02 — 0,04 \text{ мг/м}^3$ , но его количество возрастает при грозовых разрядах. Подсчитано, что суммарное поступление азота в почву таким путем составляет  $10—15 \text{ кг/га}$ .

Биологическая фиксация азота связана с деятельностью прокариот. Они способны превращать биологически бесполезный газообразный 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 синезелены-

ми 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 азота 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 — 4 400, бактерий — около 3 000 мг на 100 г сухого вещества. Как и углерод, фосфор участвует в биологическом и геологическом круговороте вещества (рис. 9.8).

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  $PO_4$ . Скорость усвоения растениями фосфора

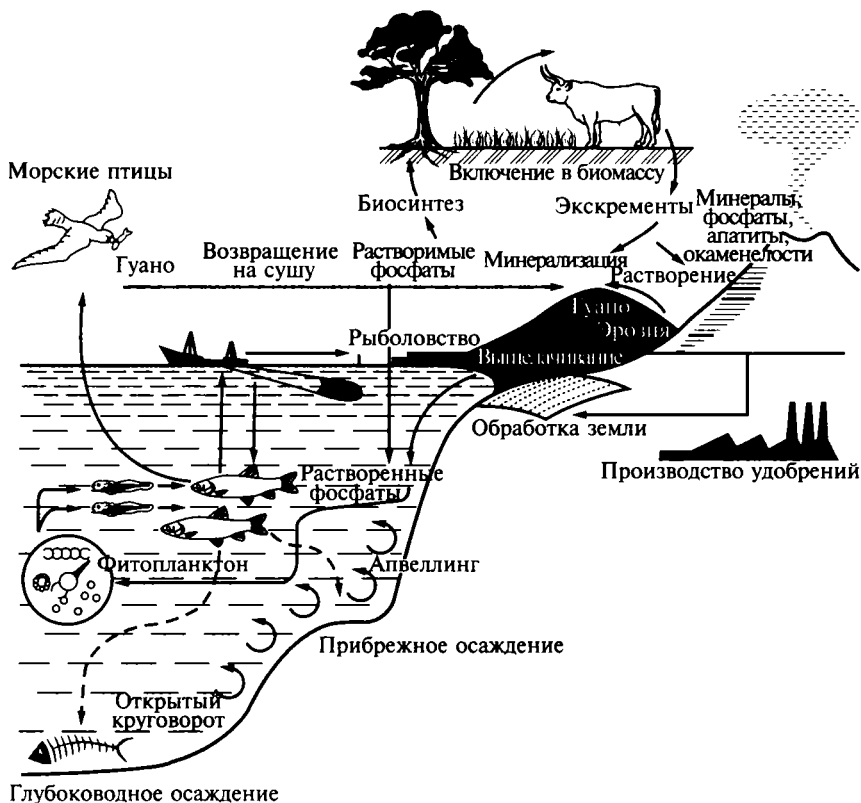


Рис. 9.8. Круговорот фосфора

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 сделанным 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 выносится 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 сера переносится с океана на материки атмосферными осадками и возвращается с речным стоком обратно в Мировой океан (рис. 9.9). Одновременно ее запасы пополняются за счет вулканической деятельности и при процессах выветривания. Вулканы выбрасывают серу в виде триоксида (серного ангидрида  $\text{SO}_3$ ), диоксида (сернистого газа  $\text{SO}_2$ ), сероводорода  $\text{H}_2\text{S}$  и элементарной серы. В литосфере имеются в большом количестве сульфиды различных металлов: железа, цинка, свинца, меди и др. В биосфере сульфидная сера с участием многочисленных микроорганизмов окисляется до сульфатной серы  $\text{SO}_4^{2-}$ , 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

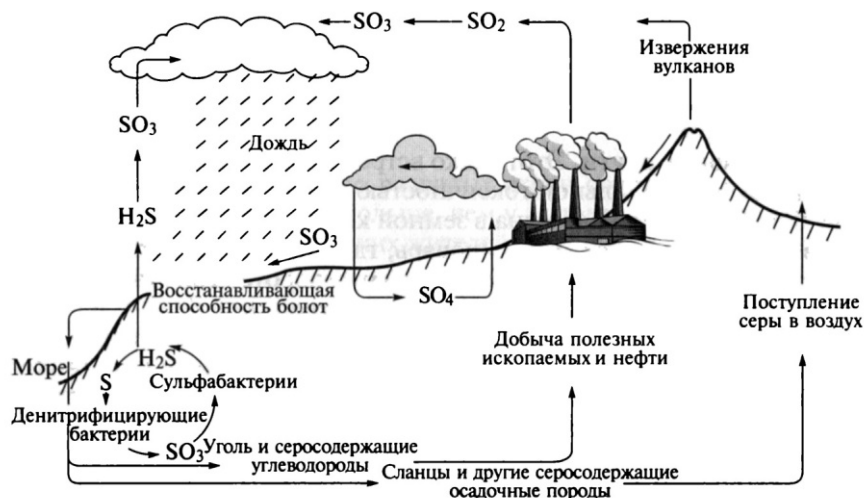


Рис. 9.9. Круговорот серы

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, 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  $\text{SO}_3$ , который соединяясь с водяными парами, превращается в аэрозоли серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Продолжительность всего цикла от момента естественных или техногенных выбросов  $\text{SO}_2$  до удаления из атмосферы паров серной кислоты составляет до 14 сут. 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 план-

ктонных 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, горнодобывающая, 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.

## 9.5. 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 ширококомасштабное 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, свидетель-

ствуют 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 применения 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 усложнения и ускорения. На ее долю выпадали самые разнообразные катастрофы, начиная от крупнейших космических и планетарных до региональных и локальных. Их развитие нередко ставило биосферу на грань самоуничтожения и полного распада. Однако каждый раз благодаря внутренней энергии биосфера с честью выходила из сложнейших ситуаций, и вновь возрождалась жизнь. Такие случаи в геологической истории многочисленны. Ярким примером может служить глобальный кризис биосферы, который произошел 65 млн лет назад. В результате столкновения Земли с крупным космическим телом (астероидом) возникла экологическая катастрофа. Изменились газо-

вый состав атмосферы и температуры приземной 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 около 10 км сначала вызвал значительный подъем приземных температур 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 числе 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 двустворчатых 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 геологической истории подобных космических катастроф насчитывается 21. Это не только прямые удары и взрывы астероидов, но падения комет или их пролеты вблизи Земли. Все это фиксируется в истории развития органического мира и отмечено крупными рубежами геохронологической шкалы. Не упав на Землю астероид 65 млн лет, не произошли в это время космическая бомбардировка, неизвестно, сколько миллионов лет могла продлиться эпоха жизни динозавров. А ведь экологическую нишу динозавров после их исчезновения заняли млекопитающие, эволюция которых привела 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, также как и резкие понижения температур, вызвавшие появления оледенений, могли быть результатом космических причин, в частности связанных с прилетом комет, и с астрономическими циклами.

Связь четвертичных ледниковых эпох и межледниковий с астрономическими 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 времени прохождения Землей перигелия, т.е. моментом наиболее близкого расположения Земли от Солнца. На каждый из перечисленных параметров влияет притяжение Луны и других планет. Эксцентриситет достигает максимальных значений через каждые 92 тыс. лет, циклы

колебаний наклона земной оси и времени прохождения 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 летней инсоляции в высоких широтах в условиях относительного постоянства радиационного баланса в целом. В высоких широтах такого изменения достаточно для существенного снижения среднегодовых температур, которые влекут за собой появление и саморазвитие ледниковых покровов на равнинах и плоскогорьях и горных ледников. В свою очередь, такие огромные по масштабам изменения напрямую дестабилизируют биосферу, которая каждый раз прилагает огромные усилия по дополнительному расходу энергии и вещества для того, чтобы вначале приспособиться к возникающим непривычным обстановкам, а затем выйти из создавшихся кризисных или критических ситуаций.

В геологической истории Земли гляциоэры разной продолжительности происходили по крайней мере шесть раз, и каждый раз рост криосферы суживал развитие биосферы и нарушал ее гомеостаз. Нарушался не только температурный режим земной поверхности, который вызывал миграции или изменения в образе жизни животных и растений. Он приводил в том числе и к существенному сокращению биомассы, а значит, нарушал биологический круговорот веществ. Нарушался и гидрологический цикл. В ледниковые эпохи снижался влагообмен между океаном и атмосферой, падало содержание влаги в атмосфере, а значит сокращалась составляющая парникового эффекта. Вследствие развития криосферы на значительных площадях существенно увеличивалось альбедо 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 образом снижал альбедо атмосферы, но выброс значительных количеств углекислоты, наоборот, способствовал усилению парникового эффекта.

Как в случае отрицательного (выхолаживание), так и положительного развития планетарных событий, когда появлялось большое 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 необычайна еще и тем, что она накладывается на условия природного гомеостаза в биосфере, и поэтому ее развитие может считаться односторонним. 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.

*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?
20. В чем заключается устойчивость и неустойчивость биосферы?
21. Как связаны циклы Миланковича с климатическими колебаниями?

## **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.*

*Лосев К. С. Проблемы экологии России / [К. С. Лосев, В. Г. Горшков и др.]. — М., 1993.*

*Лосев К. С. Экологические проблемы и перспективы устойчивого развития России в XXI веке. — М., 2001.*

*Одум Ю. Экология. — М., 1986.*

*Реймерс Н.Ф. Экология (законы, теории, правила, принципы и гипотезы). — М., 1994.*

*Чебышев Н.В. Основы экологии / Н. В.Чебышев, А. В.Филиппова. — М.: Изд-во Новая волна, 2004.*

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМ

---

### 10.1. Геоэкологические особенности урбанизации

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 высокоразвитыми 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.

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 начале XXI в. имелось уже 20 городов с численностью более 10 млн жителей, млн чел. (данные 2005 г.):

1. Токио (Япония).....	35,2
2. Мехико (Мексика).....	19,4
3. Нью-Йорк (США).....	18,7
4. Сан-Паулу (Бразилия).....	18,3
5. Бомбей (ныне Мумбай) (Индия).....	18,2
6. Дели (Индия).....	15,0
7. Шанхай (Китай).....	14,5
8. Калькутта (ныне Колката)(Индия).....	14,3
9. Джакарта (Индонезия).....	13,2
10. Буэнос-Айрес (Аргентина).....	12,6
11. Дакка (Бангладеш).....	12,4
12. Лос-Анджелес (США).....	12,3
13. Карачи (Пакистан).....	11,6
14. Рио-де-Жанейро (Бразилия).....	11,5
15. Осака (Япония).....	11,3
16. Каир (Египет).....	11,1
17. Лагос (Нигерия).....	10,9
18. Манила (Филиппины).....	10,7
19. Москва (Россия).....	10,7
20. Пекин (Китай).....	10,7

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, побережья 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 °C 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. Весьма высокое загрязнение воздуха в городах Лос-Анджелес, Мехико и Сантьяго, что является примером развития смогов и даже послужило основой для их классификации.

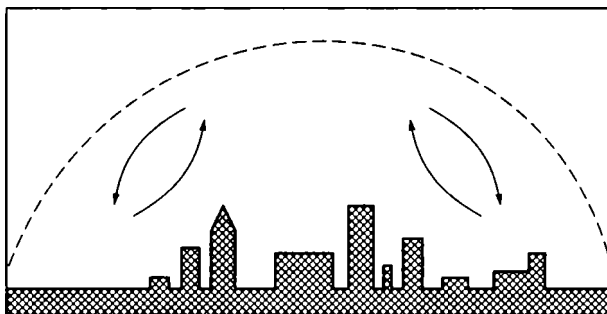
Городская среда — это пространство, в котором постоянно живет немногим более половины человечества, а почти все остальные жители Земли посещают города в качестве визитеров.

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, горнометаллургические, 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 (рис. 10.1).

Загрязняющие вещества из воздуха удаляются ветром или атмосферными осадками, но в безветренную погоду они накапливаются.

В городских условиях кроме состояния атмосферного воздуха серьезную геоэкологическую проблему создают качество воды и очищение канализационных стоков. Антропогенное вмешательство в гидросферу на территории городов в первую очередь выражено соору-



**Рис. 10.1. Атмосферные потоки воздуха над большими городами (Lowry, 1967, по кн. Н. В. Чебышева, А. В. Филипповой, 2004). Над крупным мегаполисом всегда образуется купол пыли с более теплым воздухом, а холодный стекает вниз по краям купола**

жением 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.

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.

Загрязнение от свалок твердых бытовых отходов распространяется на значительные расстояния (табл. 10.1), воздействует на многие компоненты окружающей среды (рис. 10.2), часто оказывая негативное влияние на здоровье людей.

Основная часть отходов складывается на свалках, которые занимают значительные площади. Сжигание твердых отходов и их переработка биотехнологическими методами для получения биогаза, удобрений и биотоплива используется пока недостаточно широко как в России, так и за ее пределами (табл. 10.2).

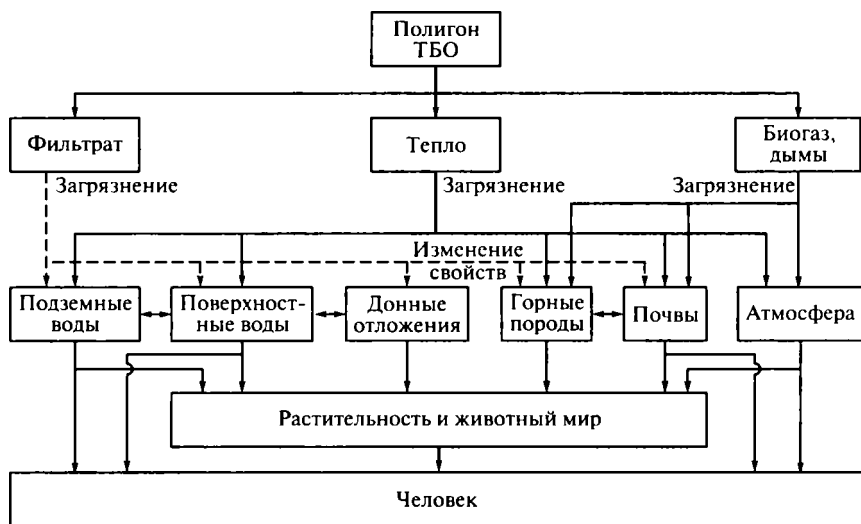
В результате возникает обстановка, опасная для жизнедеятельности и здоровья жителей городов.

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.

**Таблица 10.1. Радиусы негативного воздействия полигонов твердых бытовых отходов** (по В. Т. Трофимову, Д. Г. Зилингу, 2002)

Вид воздействия	Радиус воздействия, м
Распространение биогаза (неприятный запах)	300 — 400
Распространение токсичного дыма	До 6 000
Загрязнение почвенно-растительного покрова	2 000 — 3 000
Загрязнение грунтовых вод	2 000 — 3 000
Загрязнение поверхностных вод	До 2 500
Тепловое загрязнение	До 50
Угнетение растительности	До 150

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.



**Рис. 10.2. Основные аспекты воздействия полигонов ТБО на компоненты окружающей среды и человека** (по В. В. Бабаку, 1991, из кн. В. Т. Трофимова, Д. Г. Зилинга, 2002)

**Таблица 10.2. Соотношение технологий переработки твердых бытовых отходов в ряде зарубежных стран, %** (Земля и человечество, 1985; Б.Н.Ласкорин и др., 1984; из кн. В.Т.Трофимов, Д.Г.Зилинг, 2002)

Технология переработки	США	Англия	Фран- ция	Гер- мания	Япо- ния	В среднем
Полигоны-свалки	84	90	55	78	57	74,7
Термический метод (сжигание)	15	9	35	20	40	23,1
Переработка в удобрения	—	1	10	2	2	1,4
Прочие методы	1	—	—	—	1	0,8

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. 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 контурбации в результате деятельности городского населения и своего географического местоположения способны причинить региональный геоэкологический ущерб, 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.

## 10.2. 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, согласно которому сухой остаток не должен превышать, мг/л: I ООО, сульфаты — 500, хлориды — 350, общая жесткость — 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 тыс. Но даже и в этом случае вода, предназначенная для питья, должна подвергаться очистке и хлорированию.

Для управления водными ресурсами пользуются следующими показателями:

- ПДК — предельно допустимая концентрация;
- ПДС — предельно допустимый сброс;
- ВПК — биохимическое потребление кислорода (чем выше ВПК, тем больше в воде легкорастворимых загрязняющих органических веществ).

Водохозяйственные службы городов стремятся к максимально 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, маслоуловители, смоллоуловители, 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. Безотходная 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.

### **10.3. 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 горнорудных 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 горнорудных 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 разный — 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 отходов 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) в Нью-

Йоркской бухте было затоплено более 250 млн м<sup>3</sup> 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 поступают 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.

#### **10.4. 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 жи-

вотноводческие производства. Из них пашня составляет около 30 %, пастбища — около 70 % суши (табл. 10.3).

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 многоярусный 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.

С глубокой древности земледелие и скотоводство стали атрибутами хозяйственной деятельности людей. Поля, пастбища, плантации

**Таблица 10.3. Обеспеченность земельными ресурсами и население на различных континентах за период с 1990 по 2000 г.**

Континент или регион	Показатели			
	земельная площадь, млн га	население, млн чел.	землеобеспечение, га/чел.	в том числе пашня, га/чел.
Африка	2 964	738,7	1,30	0,26
Азия	3 085	3 488,0	0,88	0,15
Южная Америка	1 753	322,3	5,44	0,37
Океания и Австралия	849	28,7	29,58	1,85
Северная Америка	2 137	461,2	4,64	0,60
Европа	571	580,7	0,99	0,27
Россия	1 689	148,1	11,41	0,90

занимают промежуточное положение между природными (леса, дуга) 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**

**Димациды..... 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;
- ограджающая 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 заболоченные 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 полъдеру. 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 агро-биогеоценозы. 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 просянок фунта.

Самый большой ущерб пахотным угодьям наносит эрозия почв (рис. 10.3). Опасность эрозии наступает при уклоне 1 — 15°. Эрозия почв делится на поверхностную (плоскостную) и линейную. Основной ущерб сельскохозяйственным землям наносит смыв тонкого почвенного слоя талыми, 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.



**Рис. 10.3. Причины деградации почвенных ресурсов Земли (Мат-лы конф ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро (1992), по кн. Н. В. Чебышева, А. В. Филипповой, 2004)**

ку. 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 задерживание 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.

Точно так же как и земледелие, животноводство обладает множеством разнообразных форм в соответствии с ландшафтно-природными условиями и уровнем развития общества. Животноводческие агро-системы 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.

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 земель 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 дигрессией. 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 перепаживают, на обработанной почве высеивают травосмеси и многолетние травы. В ряде стран разработаны нормы выпаса животных.

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 отчуждаемая 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 результа-

том непреднамеренных и неkoordinированных 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.

## 10.5. Геоэкологические особенности энергетики

Важнейшей стороной деятельности человека являются потребление и способы производства необходимого количества энергии. Без вещества и энергии немислимо 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. Вначале 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 Ю 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 трансформации 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 определяют 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 продолжаются как на стадии транспортирования, так и в процессе переработки.

Во-вторых, загрязнение окружающей среды усиливается в результате выбросов в атмосферу различных газообразных и пылеватых 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 (рис. 10.4).

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 км<sup>2</sup>, 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. Кис-

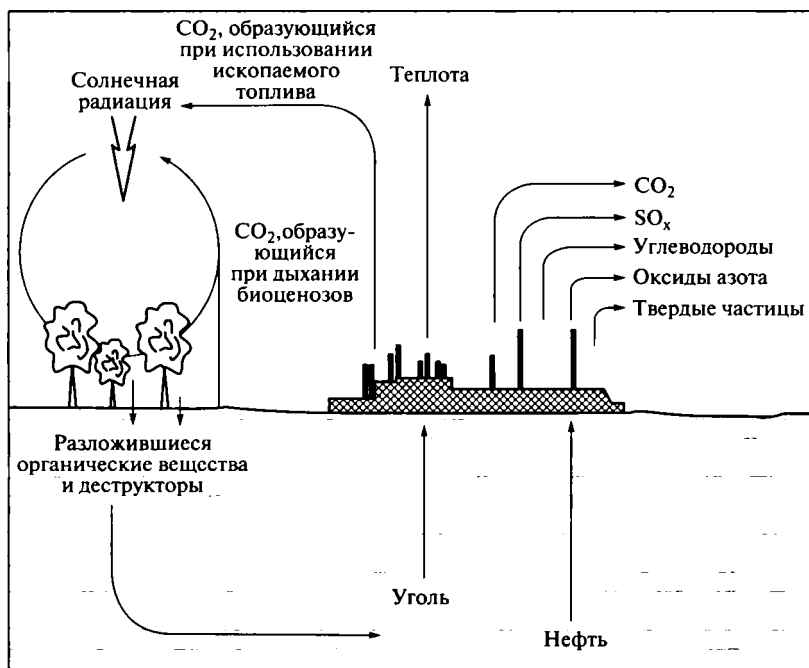


Рис. 10.4. Загрязнители, выделяемые в биосферу при производстве энергии (Ф. Рамад, 1981, по кн. Н. В.Чебышева, А. В.Филипповой, 2004)

лотные 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 радиоактивными 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 2 500 т жидких радиоактивных отходов. Суммарная радиация отходов после переработки отработанного ядерного топлива составляет 600 тыс. Ки.

Определенный геоэкологический ущерб наносят экосистемам строительство и эксплуатация гидроэлектростанций. Имеются и существенно 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 осаждается 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 возобновляемых 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<sup>-6</sup>%) 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  $10^8$  м<sup>3</sup> воды и занимает площади около 20 км<sup>2</sup>. Для сравнения: безвредные солнечные батареи, размещенные на территории около 100 км<sup>2</sup>, 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.

## 10.6. 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, фунта, 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 верху производственно-экономической пирамиды находится высшая стадия промышленного производства — высокоточная индустрия нанотехнологии (рис. 10.5). 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.



Рис. 10.5. Соотношения типов промышленности, использования природных ресурсов и загрязнения окружающей среды (по Г. Н. Голубеву, 2006)

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. 10.4).

Промышленность — весьма важный, если не основной потребитель природных ресурсов, в число которых входят металлические и неметаллические, а также горючие полезные ископаемые, продукты 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 (рис. 10.6).

Радиус негативного воздействия полигонов складирования отходов горнодобывающей и горнообогачительной отраслей промышленности может достигать нескольких километров (табл. 10.5).

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 загрязнением на конечной стадии производства; системная перестройка производственного цикла.

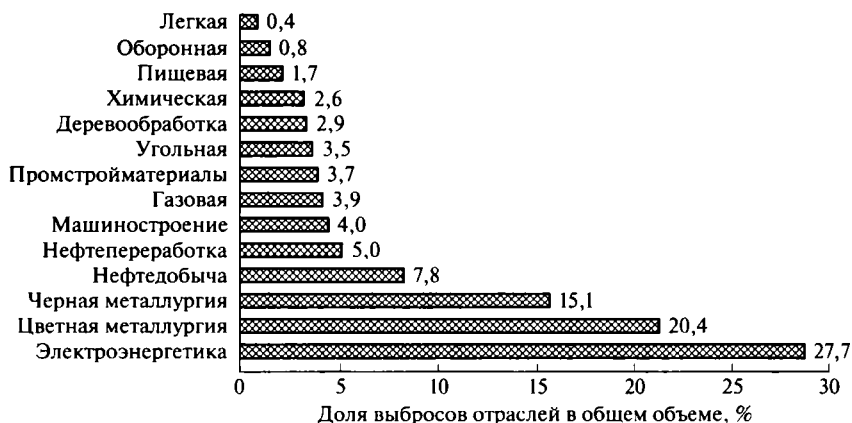
Переработка загрязнений на конечной стадии производства не сокращает массу загрязнителей. При этом отходы после их обработки смещаются из одной среды в другую, более удобную для данного технологического цикла, например из воздуха в воду или почву. Такой подход, хотя и приемлемый как временная мера, в 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.

Таблица 10.4. 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, $\text{HC}$ , $\text{SC}_2$	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	$\text{SO}_2$ , $\text{NO}_x$ , $\text{H}_2\text{S}$ , пыль $\text{HC}$ , $\text{CO}$ , кислотные туманы	»	БПК, взвеси, нефть, металлы, кислоты, фенол, сульфиды, сульфаты, аммиак, цианиды	Шлак, отходы, промышленные илы	Взрывы и пожары
Нефтепереработка	Неорганические химические вещества	$\text{SO}_2$ , $\text{NO}_x$ , $\text{HC}$ , $\text{CO}$ , 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, нефелин	Фтор, CO, SO <sub>2</sub> , пыль	Для промывки	Фтор, взвеси, HCl	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



**Рис. 10.6.** Распределение отраслей промышленности по производимым ими выбросам загрязняющих веществ в атмосферу (по В. Ф. Протасову, 1999)

**Таблица 10.5.** Радиусы негативного воздействия полигонов складирования отходов горнодобывающей и горно-перерабатывающей отраслей промышленности (по В. Т. Трофимову, Д.Г.Зилингу, 2002)

Вид воздействия	Радиус воздействия, м
Загазованность (при горении)	Более 300
Распространение токсичного дыма (при горении)	До 10 000
Загрязнение почвенно-растительного покрова	До 5 000
Загрязнение подземных вод	Более 5 000
Загрязнение поверхностных вод	Более 10 000
Тепловое загрязнение	До 100
Пылевое загрязнение	До 20 000
«Геодинамическое» (техногенные оползни и другие опасные процессы)	1 000 и более (в случае катастрофических сценариев)
Подтопление территории	Более 1 000
Угнетение растительности	1 000 — 3 500

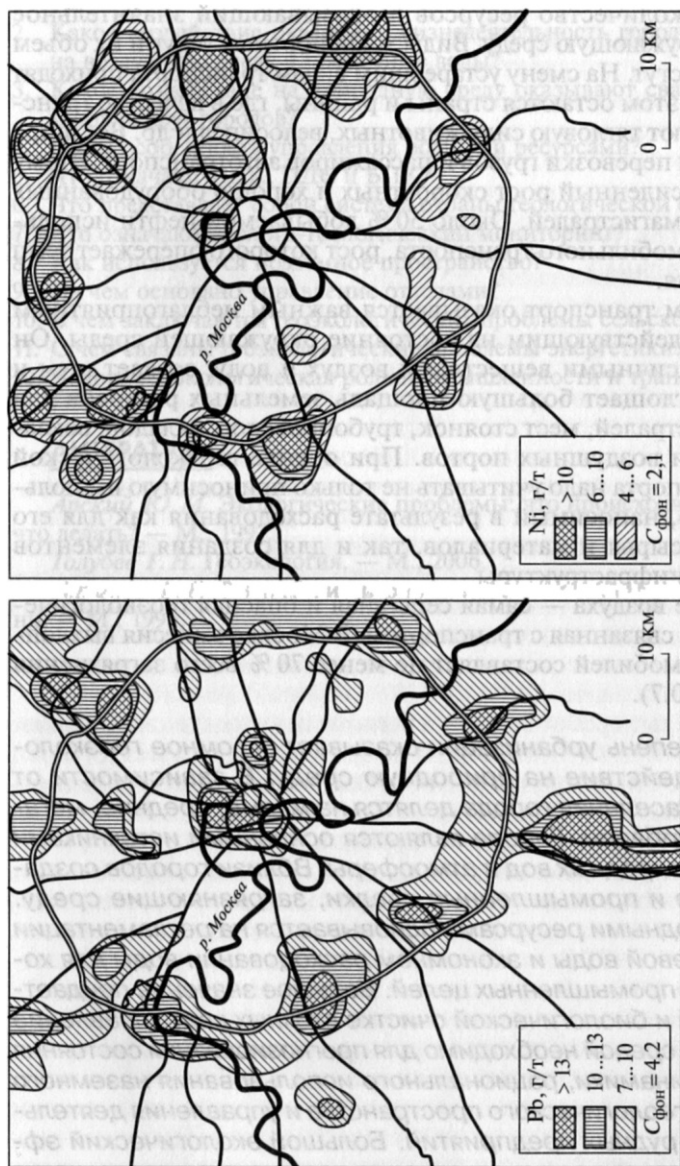


Рис. 10.7. Аномальные содержания свинца и никеля в почвах Москвы и Московской обл. (по С. А. Воробьеву, С. Б. Самойлову, 2002)

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 тяговую 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 автомобилей составляет не менее 70 % всего загрязнения воздуха (рис. 10.7).

*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 ВПК?
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., 2006.

*Горшков В. Г.* Физические и биологические основы устойчивости жизни. - М., 1995.



## МЕТОДЫ И ПРИНЦИПЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

---

### 11.1. 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 масштабе 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.

## 11.2. 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).

Геологические методы. 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 обнаружены.

На первом этапе геологического исследования выявляют особенности проявления геологических процессов, оконтуривают геопатогенные зоны, определяют их характер и степень функционирования.

Геохимические методы. Методы позволяют определять концентрацию 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 геохимическим 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.

Геофизические методы. С помощью данных 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 зарекомендовали себя 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. 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.

Геокриологические методы. С помощью этих методов изучают строение, состав, свойства и распространение многолетнемерзлых фунтов 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 фунтов и горных пород колеблется от нескольких до сотен метров и зависит от геофактической широты, климата и характера рельефа.

Для определения реакций природы на техногенную деятельность в области развития многолетнемерзлых фунтов и прогнозирования ее последствий ученые МГУ им. М. В. Ломоносова, обосновав выделение нового научного направления — геокриозэкологии, разработали методы оценки, прогноза и обеспечения устойчивости мерзлотных комплексов, а также рекомендации по предупреждению и рекультивации нарушенных площадей в криолитозоне. Основными методическими принципами геокриозэкологии являются мониторинг и анализ эволюции геокриосистем под влиянием внешних условий

их существования и развития. В геоэкологических исследованиях используют природно-экспериментальные, аналитические и картографические методы.

Инженерно-геологические методы. С помощью этих методов исследуется геологическая среда и влияние на нее техногенной деятельности, а также воздействие нарушенной геологической среды на хозяйственные, социальные объекты и на всю природу в целом; изучаются условия и динамика 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.

Геоморфологические методы. Методы позволяют изучить 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. Изучение земной поверхности, проведенное за последние десятилетия с помощью аэрокосмических методов, внесло существенный вклад в геологическую науку. Главными достоинствами 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 удастся 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.

Аэрогаммаспектрометрические и тепловые методы. Методы оказались особенно эффективными для выявления и контроля загрязнения акваторий, процессов самовозгорания на свалках и в терриконах, лесных пожаров, подземных пожаров торфяников и горючих полезных ископаемых.

## 11.3. Геоэкологическое 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-геоэкологических 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 удастся 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 работ 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 (резюмирующих). 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 км<sup>2</sup> (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 желательно 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 км<sup>2</sup>, изучают причинно-следственные связи в системе «источник загрязнения — окружающая среда — живые организмы» в пределах выявленных потенциально опасных аномалий. 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.

## 11.4. 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 следующие.

1. Природные и техногенные ландшафты. Последние созданы техногенными системами (территориально-промышленными, топливно-энергетическими, горнодобывающими, агропромышленными комплексами, а также городскими агломерациями).

Исследованию подлежат почвы и почвообразующие породы, комплексы горных пород, отложения постоянных и временных водотоков, 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. 11.1).

2. Эндогенные и экзогенные геологические процессы.

3. Крупные техногенные горнорудные и промышленные объекты, в том числе централизованные водозаборы, мелиоративные системы, нефтегазовые промыслы, места захоронения высокотоксичных отходов горнодобывающей 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, экологорадиометрические, 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;

**Таблица 11.1. Классификация главнейших типов руд по степени их экологической опасности**

Типы руд по степеням опасности		
высокоопасные	умеренно опасные	малоопасные
<b>Сернистые</b> — в виде сульфидов, арсенидов, антимонитов, реже в форме соединений Bi, Te, Se, к которым принадлежит большинство руд цветных металлов (Си, Zn, Pb, Ni, Sb и др.)	<b>Оксиды</b> — в форме оксидов и гидроксидов, характерные для многих месторождений Fe, Mn, Sn, Cr, Al	<b>Сульфатные</b> месторождения Ba, Sr и других элементов
<b>Оксиды</b> — в форме оксидов и гидроксидов, характерные для месторождений урана	<b>Карбонатные</b> — некоторые месторождения Pb, Zn, Fe, Mn, Mg, Си. <b>Фосфатные</b> месторождения и связанные с фосфором соединения	<b>Месторождения</b> строительных материалов
<b>Силикатные</b> — типичные для неметаллических полезных ископаемых (слода, асбест, тальк, драгоценные камни)	<b>Галоидные</b> — типичные для месторождений солей и флюорита	—

- 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 проведения 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, сейсмотектонических обвалов, засоления и подтопления территорий; участки геоэкологических 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 фунтовых 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, участков 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 съемки. 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 желателно 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 каротажем 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, керна 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 км<sup>2</sup>. В лесной и таежной зонах возможно разрежение сети опробования — одна проба на 25 км<sup>2</sup>. В районах распространения многолетнемерзлых пород, подверженных техногенному воздействию, отбирают одну пробу на 4—7 км<sup>2</sup>, в лесостепных и степных районах — одну пробу на 9—12 км<sup>2</sup>, на орошаемых территориях — одну пробу на 7—9 км<sup>2</sup>.

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 развития 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 плотности горных пород; методом радиоизотопного каротажа скважин рассматривают изменчивость инженерно-геокриологических условий, а методом электропрофилирования — 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 штуфным или точечным методом. КERN пробуренных скважин опробуют штуфным 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 атмогеохимических 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 см<sup>3</sup>. 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 горнодобывающих и промышленных предприятий, западинные формы рельефа, затопляемые поймы и плесы.

Акватории морских бассейнов в шельфовой части, а также неглубокие участки внутренних водоемов опробуют с учетом всех эко-

логически 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 гидролитодинамический 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 ковшовых 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 разномасштабных 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 среднemasштабное 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.*

### 12.1. 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.

Индустриальная основа Советского Союза, созданная в 30-е годы XX в. тоталитарной системой, была связана с необходимостью соз-

---

\*Настоящая глава написана с использованием материалов К. С. Лосева (1993, 1995, 2000, 2001).

дания надежного и мощного ядерного щита. Темпы использования инноваций в военной области существенно превышали 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 охранные 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 начиналось 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 широко разрекламированный 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 реали-



зация 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, широкомасштабной 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 поллютантов, 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 результаты, 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.

Поданным 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 км<sup>2</sup>. На душу населения приходится немногим более 4 га таких территорий. В Западной Европе на душу населения приходится 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 км<sup>2</sup> территорий с разрушенными естественными экосистемами 2,2 млн км<sup>2</sup> составляют сельскохозяйственные земли, около 2 млн км<sup>2</sup> — 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 Япония создает почти в 214 раз больше внутреннего валового продукта, чем Россия, а более близкая по природным условиям Финляндия — в 3,5 раза больше.

## 12.2. Выбросы парниковых газов 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. 12.1).

До распада Советский Союз по эмиссии углерода занимал второе место после США. После образования Российской Федерации сведения об эмиссии углерода не публиковались. Однако существуют 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.

Таблица 12.1. 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	1 371	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

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). В конце XX в. 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. 12.2.

Суммируя все имеющиеся данные по эмиссии парниковых газов на территории России, можно заключить, что к концу XX в. 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 по выбросу парниковых газов в атмосферу 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).

**Таблица 12.2. 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	3 690	1 660
Сельскохозяйственные отходы	2 020	910
Тропические леса	1 260	570
Сжигание дров	1 430	640
Умеренные и бореальные леса	280	130
Древесный уголь	20	30
Всего	8 700	3 940

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.

Природным источником поступления метана в атмосферу являются мангровые заросли, болота умеренного климата, тундровые ландшафты, а также выбросы скоплений 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 энергетики 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 другим причинам 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.

### **12.3. Особенности глобального потепления на территории России и состояние озонового экрана**

**Изменение погодных и климатических условий.** Факт глобального потепления установлен прямыми инструментальными наблю-

дениями. Они со всей очевидностью свидетельствуют о потеплении 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 °C, что превышает ее изменение за последнее тысячелетие. В 90-е годы XX в. было на 0,75 °C 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  $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Особенно интенсивным тренд оказался для периода 1991 — 1998 гг., который составил  $2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  за сто лет. Наиболее теплым для всех регионов России был 1997 г. Средняя годовая температура повсеместно была выше нормы на  $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . 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 экрана 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 экран, 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, наблюдалось над



Арктикой и значительной частью Восточной Сибири. Причем размеры этой озоновой дыры достигали 3 000 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 % шел 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 тыс. т. К началу XXI в. мировым сообществом рекомендовалось России производить 226 т в год хлорфторуглеводородов для медицинских целей.

## **12.4. 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 — 20 мкг/м<sup>3</sup>, причем наибольшая их концентрация, достигающая 57 мкг/м<sup>3</sup>, наблюдалась в летние месяцы, а зимой уменьшалась до 7 — 8 мкг/м<sup>3</sup>. 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<sup>3</sup>.

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 снижении эмиссии твердых частиц главным образом за счет мер по уста-

новке 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 проводимости 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.

Эмиссия  $\text{SO}_2$  в атмосферу России и некоторых европейских государств представлена в табл. 12.3.

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 юродов 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 сравнительно недорогие способы вывода его из антропогенного круговорота.

**Таблица 12.3. 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

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. 12.4.

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, которые 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.

**Таблица 12.4. Количество выбросов оксидов азота в атмосферу некоторых государств, тыс. т**

Страна	Год		
	1980	1985	1990
Россия	2 400	2 500	3 030
Беларусь	244	220	263
Украина	—	1 059	1 097
Германия	3 640	3 700	3 190
Великобритания	2 365	2 392	2 779
Испания	950	839	980
Нидерланды	548	544	552
Польша	—	1 500	1 280
Франция	1 823	1 614	1 750
Финляндия	264	262	290

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, обваловыванием 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 1 253 тыс. км<sup>2</sup>, или 7,3 % территории страны. На сопредельных территориях эти бассейны занимают почти вдвое большие площади — 2 140 тыс. км<sup>2</sup>. 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 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 в Украине вновь выходит на территорию России в Ростовской области. Эта река, таким образом, транзитом возвращает поступившие в Украину загрязнения из России, но к ним добавляются новые загрязнения, источником которых является донбасская промышленность. Загрязнение Днепра и экспорт поллютантов в 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 Беларусь, 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 России происходит с 16 государствами. При этом Россия получает воду из 9 государств, а передает 7 государствам.

Трансграничный перенос морскими течениями связан в Арктике с системой Норвежско-Нордкапских течений, выносящих загрязне-

ния 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 циркумполярным течением в Северном Ледовитом океане и трансарктическим течением от берегов Евразии к проливу между Гренландией и Шпицбергенom. 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.

## 12.5. 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 — формируется 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-отвалыные комплексы, остающиеся в местах добычи полезных ископаемых, являются одним из основных факторов, дестабилизирующих экологическую обстановку. Карьерно-отвалыный 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 (добыча доломита и бокситов), Белгородской и Липецкой (добыча мела и известняка) областях, 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 возможная 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 помогала 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. 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 сохраняют-

ся 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 горнодобывающие и горно-обогачительные 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 керна 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 1 000 раз больше, чем в костях людей, живших 1 500 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 9 тыс. 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 обл.), Владикавказе (Северная Осетия), пос. Кличка (Читинская обл.). 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 в Украине и 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 Центрально-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 Имолден 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 устанавливают 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 1 000 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. Семипалатинск 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 связи с сокращением ядерного вооружения возникла проблема хранения и переработки высокообогащенного урана и плутония. Безопасное хранение высвобождающегося глубокообогащенного 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 энергетики. К началу 80-х годов XX в. суммарная мощность АЭС достигала 367,4 ГВт. Однако с Чернобыльской катастрофы в

1986 г. начался спад атомной энергетики. 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 находится 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 огромны. 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.

## 12.6. 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 обеспечивать 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 интеллектуально-емких производств и глубокой переработке 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, не-

обходимостью 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 сокращении видового биоразнообразия.

**Потенциал экологической устойчивости России.** На 65 % территории России располагаются слабо нарушенные или не нарушенные экосистемы, значительная часть которых представлена лесами. Общая площадь не нарушенной хозяйственной деятельностью восточносибирской тайги занимает площадь около 6 млн км<sup>2</sup>. Более 1 млн км<sup>2</sup> охватывают водно-болотные территории (ветланды), которые по своей продуктивности приближаются к лесным экосистемам. Около 2,8 млн км<sup>2</sup> 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 биопроductивность за вычетом расходов синтезированного органического вещества на дыхание растений. Общемировая величина «чистой» первичной биологической продуктивности составляет 220 млрд т за год в органическом веществе или приблизительно 100 млрд т углерода. Средняя для мира удельная биологическая продуктивность составляет 430 г/м<sup>2</sup>, или 43 ц/га. Средняя для свободной от ледников суши удельная продуктивность органического вещества равна 1000 г/м<sup>2</sup>, или 100 ц/га. Для океана эта величина составляет всего лишь 250 г/м<sup>2</sup>, 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 потре-

бления «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.

*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. Экологическая устойчивость России заключается в преодолении ее экологической уязвимости и обеспечении экологической безопасности.*

## **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. Экологические проблемы России и сопредельных территорий / К.С.Лосев, М.Д.Ананичева. — М., 2000.*

*Проблемы экологии России / [К. С. Лосев и др.]. — М., 1993.*

*Прохоров Б. Б. Состояние здоровья населения за 100 лет // Россия в окружающем мире. — М., 2000.*

## **А**

Аномалии геофизические 217  
— геохимические 217  
— естественные 218  
— техногенные 218  
— радиационные 225  
Асидификация 85, 172  
Астеносфера 182  
Атмосфера 64  
Археозология 10  
Аэрозоли 81, 352

## **Б**

Базальты 187  
Базиты 186  
Бентос 119  
Биогеоценоз 17  
Биоиндикация 264  
Биоразнообразие 261  
Биотоп 17  
Биоценоз 17  
Биоэкология 10  
Болота 141  
Брекчия аллогенная 57  
— аутигенная 57  
Бугры пучения 209  
Буря пылевая 80  
— соляная 80

## **В**

Взрыв подземный ядерный 244  
Вихри атмосферные 74  
Водоохранилища 143  
Воды внутри мерзлотные 208  
— межмерзлотные 208  
— подземные 142  
Воздействия антропогенные 232

Вулканы 212

Выбросы 245

## **Г**

Гайоты 119  
Галактический год 54  
гелиосфера 49  
Геосфера Земли 15  
Геонд 180  
Геоэкология 11, 13  
Гидросфера 112, 135, 146  
Гнейсы 187  
Города-гиганты 288  
Градобитие 79  
Гранаты 188  
Граниты 187  
Гроза 78  
Группа гипотез биогенная 97  
— метеорологическая 97  
— техногенная 97  
— эндогенная 99

## **Д**

Давление 183  
Денудация суши 196  
— топливная 199  
Дождь кислотный 86  
Доктрина устойчивого развития 364

## **Ж**

Жолоб 119

## **З**

Заболачивание 149  
Засуха 79  
Загрязнение биологическое 170  
— патогенами 171

- механическое 164
- твердыми частицами 164
- термическое 161
- физическое 171
  - радиоактивное 172
- химическое 164
  - детергентами 166
- нефтью и нефтепродуктами 165
- пестицидами 165
- полихлорвиниловыми бифенилами 165
- тяжелыми металлами 166
- шумовое 230
- Землетрясение 213
- Земная кора 180
- Зооценоз 17
- Зювиты 57

## И

- Изостазия 185
- Импактиты 56
- Ионосфера 52, 65

## К

- Камнепады 202
- Карры 204
- Карст 203
- Картирование геоэкологическое 328
- Кливаж 239
- Комбинат горно-обогатительный 234
- Концентрация предельно допустимая (ПДК) 294
- Концепция паритета между природой и обществом 45
  - природоохранная 39
  - технократического оптимизма 40
  - устойчивого развития 45
  - экологического алармизма 41
- Козсит 57
- Криль 120
- Крип 203
- Круговорот азота 272
  - веществ в биосфере 266
  - воды глобальный 113
  - свинца 279
  - серы 277
  - ртути 278

- углерода 269
- фосфора 274
- Курумники 209

## Л

- Лавины 152, 197
- Ламелли деформационные 57
- Ландшафт антропогенный 233, 332
  - военный 235
  - горно-промышленный 234
  - ирригационно-технический 235
  - коренной 233
  - селитебный 233
  - сельскохозяйственный 235
- Ледники 141, 152
- Ливень 78
- Лимноабразия 149
- Линеаменты 239
- Литосфера 182
- Лон-сдейлит 57

## М

- Магнитосфера 51
- Мантия 181
- Мезопауза 65
- Мезосфера 64
- Мелиорация 238
- Мероприятия по защите атмосферы
  - контрольно-запретительные 107
  - санитарно-технологические 107
  - технологические 107
- Методы геоэкологических исследований 322
  - аэрогаммаспектрометрические 328
  - аэрокосмические 327
  - геокринологические 326
  - геологические 322
  - геоморфологические 327
  - геофизические 324, 336
  - геохимические 323
  - гидрогеологические 325
  - инженерно-геологические 327
  - ландшафтно-индикационные 336
- Минерализация вод 167
- Мировой океан 114
  - биопродуктивность 119

— биоресурсы 119  
— рельеф дна 118  
— соленость 115  
— температурный режим 116  
— течения 116  
——— градиентные 117  
——— дрейфовые 116  
——— приливные 117  
— функции экологические 122  
——— антропосферные 124  
——— геологические 133  
——— ресурсные 123

Молния 79

Мониторинг эколого-геологический 295

Морозы 80

## Н

Наводнения 148, 197

Наледи 209

Напряженное состояние естественное (ЕНС) 238

Нектон 119

Ноосфера 19

## О

Обвалы 202

Оболочка географическая 18

Озера 140

Озоновая дыра 92, 96

Озоновый слой 90, 92, 351

Оливин 188

Оползни 202

Осыпи 202

Опускание земной поверхности 241

Отмель 119

Окружающая среда 15

## П

Парниковый эффект 90

Перенос трансграничный 3

Песчаники 187

Пироксены 188

Планктон 119, 120

Плотность 183

Поноры 204

Потребление кислорода биохимическое (БПК) 294

Последствия экологические антропогенного воздействия на геологическую среду 231

——— на гидросферу суши 158

——— промышленности 314

——— сельскохозяйственного производства 298

——— энергетики 306

Процессы гравитационные 201

— криогенные 208

— экзогенные 196, 332

— эндогенные 332

## Р

Работы камеральные 334

— полевые 335

Радиоактивность 224

Разломы глубинные 240

Реки 135

Ресурсы водные 103

— Мирового океана 119

## С

Сброс предельно допустимый (ПДС) 294

Сейши 11

Сейсмичность 242

Сель 154, 197

Склон материковый 119

Слой деятельный 208

Сланцы 187

Смерч 76

Смог влажный 84

— ледяной 84

— сухой 84

Снегопад 79

Снежный покров 142

Солифлюкция 209

Сообщество 17

Социосфера 20

Среда геологическая 18, 189

— городская 290

Стишовит 57

Стратопауза 64

Стратосфера 64

## **Т**

Тагамиты 57  
Термокарст 208  
Термосфера 65  
Техносфера 19  
Томография сейсмическая 184  
Транспорт 318  
Трещины 238  
Троилит 188  
Тропопауза 64  
Тропосфера 64

## **У**

Угроза радиационная 361  
Удар горный 245  
Урбанизация 288  
Ускорение свободного падения 184  
Управление водными ресурсами 294  
— геологической средой 295  
— отходами 297

## **Ф**

Фитоценоз 17  
Функция водоочистная 257  
— водорегулирующая 258  
— деструктивная 260  
— газовая 253  
— концентрационная 258  
— почвенно-элювиальная 255  
— транспортная 259  
— энергетическая 250

## **Х**

Хондриты 58

## **Ц**

Центр промышленный 243  
Цикл гидрологический 113  
Циклон 75  
— средних широт 75  
— тропический 75  
Цунами 117

## **Ш**

Шельф 119  
Шквал 76

## **Э**

Эвтрофикация 174  
Экзосфера 65  
Экологиты 188  
Экологическая ниша 18  
—• устойчивость 364  
Экологический кризис 367  
Экология медицинская 10  
— прикладная 11  
— инженерная 11  
— промысловая 11  
— сельскохозяйственная 11  
— социальная 10  
— человека 10  
— эволюционная 10  
Экосистема 17  
Эрозия почв 196  
— речная 147

## **Я**

Ядро 189

Предисловие.....	3
Введение.....	5
Глава 1. Современное состояние экологической науки.....	9
Глава 2. Содержание, объект и предмет геоэкологии.....	13
2.1. Объект и предмет геоэкологии.....	13
2.2. Понятийная и терминологическая база геоэкологии.....	14
Глава 3. Влияние социально-экономических факторов и их воздействие на геосферы.....	21
3.1. Численность населения как геоэкологический фактор.....	21
3.2. Рост темпов потребления природных ресурсов.....	28
3.3. Геоэкологическая роль технического прогресса.....	30
Глава 4. Современные концепции взаимоотношения человека, общества и природы.....	34
Глава 5. Воздействие на геосферы космических факторов.....	49
5.1. Космическая радиация.....	49
5.2. Воздействие космического вещества.....	55
5.3. Гравитационное влияние космоса.....	62
Глава 6. Геологическая роль и экологические функции атмосферы.....	64
6.1. Главные особенности атмосферы.....	64
6.2. Возникновение и эволюция атмосферы.....	67
6.3. Роль атмосферы в природных процессах.....	70
6.4. Эколого-геологическая роль атмосферных процессов.....	74
6.5. Антропогенные изменения атмосферы.....	80
6.6. Парниковый эффект и нарушение озонового слоя.....	90
6.7. Природные и социально-экономические последствия глобального изменения климата.....	101
6.8. Глобальные и локальные проблемы загрязнения воздушной среды.....	104
6.9. Этносферные функции атмосферы.....	108
Глава 7. Геологическая роль и экологические функции гидросферы.....	112
7.1. Общие сведения о гидросфере Земли.....	112

7.2.	Основные особенности Мирового океана.....	114
7.3.	Экологические функции Мирового океана.....	122
7.4.	Геологические воздействия и экологические последствия природных процессов в Мировом океане.....	124
7.5.	Глобальные и региональные экологические последствия в Мировом океане в результате антропогенной деятельности.....	131
7.6.	Общая характеристика гидросферы суши.....	135
7.7.	Геологическая роль и неблагоприятные экологические процессы, обусловленные гидросферой суши.....	146
7.8.	Экологические последствия антропогенного воздействия на гидросферу суши.....	158
7.9.	Особенности загрязнения и изменения качества вод гидросферы суши.....	163
7.10.	Процессы асидификации и эвтрофикации.....	172
7.11.	Дефицит воды и управление водными ресурсами.....	174
Глава 8.	Экологические функции геологической среды.....	180
8.1.	Строение Земли.....	180
8.2.	Понятие о геологической среде и экологические функции литосферы.....	188
8.3.	Ресурсные функции литосферы.....	190
8.4.	Неблагоприятные геодинамические процессы.....	195
8.5.	Особенности геофизических и геохимических аномалий.....	217
8.6.	Последствия антропогенного воздействия на геологическую среду.....	231
Глава 9.	Биосфера и экологические функции живого вещества.....	248
9.1.	Основные особенности биосферы. Ее строение и развитие.	248
9.2.	Экологические функции живого вещества.....	249
9.3.	Биологическое разнообразие и биоиндикация.....	260
9.4.	Круговороты веществ в биосфере.....	266
9.5.	Неустойчивая биосфера и устойчивое развитие.....	279
Глава 10.	Геоэкологические аспекты природно-антропогенных систем.....	287
10.1.	Геоэкологические особенности урбанизации.....	287
10.2.	Управление водными ресурсами.....	294
10.3.	Управление геологической средой.....	295
10.4.	Геоэкологические последствия сельскохозяйственного производства.....	298
10.5.	Геоэкологические особенности энергетики.....	306
10.6.	Геоэкологические последствия работы промышленности и транспорта.....	311
Глава 11.	Методы и принципы геоэкологических исследований.....	320
11.1.	Возникновение и развитие геоэкологических исследований.	320
11.2.	Методы геоэкологических исследований.....	322
11.3.	Геоэкологическое картирование.....	328



11.4. Основные принципы среднемасштабного геоэкологического исследования и картирования.....	331
Глава 12. Экологические проблемы России.....	342
12.1. Экологические нарушения на территории России.....	342
12.2. Выбросы парниковых газов в России.....	346
12.3. Особенности глобального потепления на территории России и состояние озонового экрана.....	349
12.4. Основные загрязнители атмосферного воздуха в России.....	352
12.5. Твердые и радиоактивные отходы.....	358
12.6. Доктрина устойчивого развития России.....	364
Предметный указатель.....	370

**Короновский Николай Владимирович,  
Брянцева Галина Владимировна,  
Ясаманов Николай Александрович**  
**Геоэкология**

**Учебное пособие**

**Редактор** *Л. В. Честная*  
**Технический редактор** *Н. И. Горбачева*  
**Компьютерная верстка:** *О. В. Пешикетова*  
**Корректор** *Г. Н. Петрова*

Изд. № 101115864. Подписано в печать 15.06.2011. Формат 60 х 90/16.  
Гарнитура «Ньютон». Бумага офсетная № 1. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 24,0. Тираж 1 000 экз. Заказ № 31861.

ООО «Издательский центр «Академия», [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)  
125252, Москва, ул. Зорге, д. 15, корп. 1, пом. 266.  
Адрес для корреспонденции: 129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1, а/я 48.  
Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.  
Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 14964 от 21.12.2010.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленных издательством  
электронных носителей в ОАО «Саратовский полиграфкомбинат».  
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59. [www.sarpk.ru](http://www.sarpk.ru)