Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Н.П. Смирнов

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Рекомендовано Научно-методическим советом Российского государственного гидрометеорологического университета в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по экологическим и гидрометеорологическим специальностям

Санкт-Петербург
2006

УДК [502.211+502.5](075.8)

Смирнов Н.П. Геоэкология. Учебное пособие – СПб: изд. РГГМУ, 2006 – 307 с.

ISBN 5-86813-163-0

Учебное пособие состоит из двух частей. В первой части рассматриваются фундаментальные вопросы, связанные с образованием, эволюцией и устойчивостью биосферы Земли. Вторая часть посвящена глобальным экологическим проблемам Земли. Это проблема быстрого роста населения Земли, потеря биоразнообразия, деградация земель, загрязнение атмосферы и гидросферы, быстрый рост бытовых и промышленных отходов. Рассматривается также проблема обеспечения человечества природными ресурсами.

В целом учебное пособие направлено на формирование у студента глобального экологического мировоззрения, и реального восприятия того, что происходит в окружающей нас биосфере. Важно и то чтобы студент правильно разбирался в том, что является главным для предупреждения возможной глобальной экологической катастрофы на Земле.

Предназначается учебное пособие для студентов экологических факультетов Высших учебных заведений. Оно будет полезно и студентам других специальностей, связанных с природопользованием, в том числе студентам гидрометеорологических специальностей, а также инженерно-техническим работникам и управленческому аппарату всех ресурсопотребляющих отраслей народного хозяйства.

у.и. 1286

ISBN 5-86813-163-0

Российский государственный гидрометеорологический университет
БИБЛИОТЕКА
195196, СПб, Малоохтинский пр., 98

© Н.П. Смирнов, 2006
© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2006

ПРЕДИСЛОВИЕ

В силу неустоявшихся еще ряда положений активно развивающейся науки "экология" нет многих определений и по отдельным ее разделам. Это в полной мере относится и к "геоэкологии", которая является разделом экологии. Понимание геоэкологии как науки у автора данного учебного пособия наиболее близко к тому определению, которое дано в учебнике «Геоэкология» Г.Н. Голубева, изданного МГУ в 1999 г. В первой части курса рассматриваются вопросы образования Земли, формирование на ней биосферы и ее эволюционное развитие. Завершается эта часть курса важнейшим разделом, посвященным устойчивости биосферы, который может быть понят только при знании закономерностей эволюции всех составных частей биосферы. Вторая часть пособия посвящена глобальным биосферным проблемам, связанным с быстрым увеличением численности населения Земли, уничтожением биоты на большой части территории нашей планеты, глобальным загрязнением атмосферы, гидросферы и почв на Земле и истощением природных ресурсов Земли.

Учебное пособие подготовлено в полном соответствии с действующей программой курса. Разработка программы была выполнена автором учебного пособия, читающего этот курс студентам в течение шести лет. В основу учебного пособия были положены лекции автора. Пособие подготовлено с использованием научных разработок по этой проблеме, выполненных прежде всего российскими учеными, которые внесли очень большой вклад в становление тех проблем, которые представлены в учебном пособии. Это, прежде всего, О.Г. Сорохтин и С.А. Ушаков ("Глобальная эволюция Земли" М., Изд-во МГУ, 1991), К.Я. Кондратьев и В.К. Донченко ("Экодинамика и геополитика", том I, СПб, 1999), В.Г. Горшков ("Физические и биологические основы устойчивости жизни" М., 1995), А.С. Монин ("История Земли" Л., "Наука", 1977), А.Ф. Алимов (Элементы функционирования водных экосистем, СПб., Наука, 2000), В.Р. Дольник ("Непослушное дитя биосферы" СПб, Паритет, 2003) и многих других российских и зарубежных авторов, список работ которых приведен в конце пособия. Хочется отметить, что в понимании задач геоэкологии, как раздела экологии, автор пособия опирался прежде всего на труды классиков. Среди них хочется в пер-

вую очередь отменить выдающегося американского эколога Юджина Одума, первая капитальная книга которого "Основы экологии", переведенная на русский язык должна быть настольной книгой каждого молодого эколога.

В заключение считаю своим приятным долгом поблагодарить ректора РГГМУ профессора Л.Н. Карлина, предложившего мне читать на экологическом факультете курс "Геоэкология", которым я постепенно увлекся и заведующего кафедрой А.А. Алимова, оказывавшего помощь на первом этапе становления этого курса. Особо хочется поблагодарить профессора В.Р. Дольника, взявшего на себя труд прочесть рукопись пособия и сделавшего ряд полезных замечаний. Общение с этим выдающимися экологом во многом способствовало становлению автора как эколога.

ВВЕДЕНИЕ

Для того чтобы стало ясно, что такое геоэкология, необходимо разобраться в том, что же такое экология и что изучает эта наука. Еще в 1866 г. Геккель первым ввел термин "экология" (oikos – дом, logos – учение) и дал этой науке следующее определение: "Это познание экономики природы, одновременное исследование всех взаимоотношений живого с органическими и неорганическими компонентами среды, включая непременно неантагонистические и антагонистические взаимоотношения животных и растений, контактирующих друг с другом. Одним словом, экология – это наука, изучающая все сложные взаимосвязи и взаимоотношения в природе, рассматриваемые Дарвиным как условия борьбы за существование".

Один из известнейших экологов США и мира Юджин Одум определяет экологию как науку об отношениях организмов или групп организмов к окружающей их среде, т.е. о взаимоотношениях между живыми организмами и средой их обитания, причем человечество рассматривается как часть природы.

В словаре Уэбстера предмет экологии определен как "совокупность или структура связей между организмами и их средой".

Крупнейший французский эколог Р. Дажо, автор книги "Основы экологии", изданной в России в 1975 г., понимает под экологией науку, изучающую условия существования живых организмов и взаимосвязи между организмами и средой, в которой они обитают.

В учебнике "Экология", изданном в 1980 г. Московским государственным университетом, дается следующее определение экологии: "Экология изучает совокупность живых организмов, взаимодействующих друг с другом и образующих с окружающей средой обитания некое единство (т.е. систему), в пределах которого осуществляется процесс трансформации энергии и органического вещества".

Наконец, на 5-ом Международном экологическом конгрессе (1990 г.) дано определение экологии как биологической науки, которая исследует структуру и функционирование систем надорганизменного уровня (популяции, сообщества, экосистемы) в пространстве и времени в естественных и измененных человеком условиях.

Казалось бы, определение экологии дано четкое и однозначное, однако иногда, к сожалению, появляются определения или сужающие понятие экологии, или, наоборот, беспредельно расширяющие трактовку предмета экологии. В качестве примера можно привести

определение экологии из учебника "Основы геоэкологии", изданного в Санкт-Петербургском государственном университете в 1994 г: "Современная экология – это междисциплинарная область знания, которая стремится понять множество связей, существующих между человеческим обществом и природной средой, и исследует органическое единство естественнонаучных и социально-экономических проблем". И далее: "Содержанием экологии являются анализ, систематизация и обобщение огромного объема экспериментальных данных о формах связей, реализующихся в системе отношений "человеческое общество – природная среда" и в ее подсистемах". Данное толкование относится в лучшем случае к определению некоторой эклектической науки, объединяющей и естественные, и социальные, и экологические проблемы жизни.

Уже из определения экологии ясно, что предметом ее изучения являются системы, представляющие собой совокупности организмов, взаимодействующих друг с другом и с окружающей средой, т.е. экосистемы. Что мы понимаем под "системой"? "Система" – это реальный или мыслительный объект, целостные свойства которого могут быть представлены как результат взаимодействия образующих его частей. Части – это элементы системы. Элементы образуют систему, но не определяют ее функциональные особенности. Функционирование систем определяет только способ взаимодействия элементов, а само разнообразие элементов, т. е. их состав, рассматривается как внешний признак системы. Методологическая основа этой науки – системный подход.

Взаимодействие элементов рождает новые свойства системы, и эти свойства складываются в новые целостные характеристики, которые невозможно понять только на основании свойств, образующих систему элементов. По природе своих элементов системы могут быть бесконечно разнообразны, и их соподчиненность приводит к одной из особенностей, присущей всем без исключения системам – иерархичности соподчинения элементов.

Так, различные органеллы есть элементы клетки, различные клетки есть элементы тканей, ткани являются элементами органов, органы – элементами организмов, организмы – элементами популяции, популяции – элементами сообществ и т. д. Тогда клетки можно рассматривать как подсистему в пределах более крупной системы – системы тканей и т.д.

Различным системным уровням организации жизни соответствуют определенные науки, их изучающие. Так, молекулярная биология изучает микро- и макромолекулярные системы, клеточные системы изучает цитология, органы являются объектами изучения физиологии, отдельных особей изучает целый комплекс наук: морфология, анатомия, систематика. Системы, начиная с уровня популяции, являются предметами изучения экологии. Популяция особей образует низшую, или элементарную, подсистему в пределах экологической системы – экосистемы.

Совокупность популяций, выполняющих сходную функциональную роль в системе (т.е. принадлежащих к единой трофической группировке), образуют следующую промежуточную подсистему – ассоциации популяций. Совокупность организмов разных трофических группировок завершает структурный ансамбль сообщества – биоценоза, а вместе с окружающей его средой – геобиоценоза. Наконец, комплекс всех геобиоценозов Земли формирует биосферу, т.е. все живое на Земле вместе с тем, что его окружает. Организмы, образующие простые и сложные системы сообществ, взаимодействуют друг с другом не вообще, а в реальном окружающем их пространстве, которое часто называют биотопом или, не совсем верно, окружающей средой. Таким образом, экосистему можно рассматривать как локализованную в пространстве и динамичную во времени совокупность совместно обитающих и входящих в сообщества различных организмов и условий их существования, находящихся в закономерной связи между собой и образующих систему взаимообусловленных биотических и абиотических процессов. Все особи популяции, сообщества, или биоценоза, связаны с абиотической компонентой, биотопом, функциональной связью, извлекая из нее различные вещества и обогащая ее продуктами своей жизнедеятельности. В результате такого взаимодействия организмов с окружающей их средой внутри экосистемы осуществляется постоянный поток вещества и энергии. Процессы биологического круговорота веществ и трансформации энергии в экосистеме осуществляются и организуются в результате продуцирования органического вещества растениями и различных биотических взаимоотношений между организмами через их трофические цепи.

Экология изучает не свойства самих элементов, образующих систему, а свойства самих систем, их функционирования. Поэтому важно

подчеркнуть, что экология изучает именно экосистемы различных уровней, а не популяции как таковые, или сообщества, или биоценозы.

Что же в таком случае изучает геоэкология? По-видимому, правы те ученые, которые рассматривают геоэкологию как науку, изучающую эволюцию и функционирование экосистем наиболее высоких иерархических уровней. В таком случае геоэкология – это наука, изучающая эволюцию и функционирование биосферы Земли ее устойчивость и те глобальные экологические проблемы, которые возникли в связи с деятельностью человека. Таким образом, геоэкология – это "глобальная экология", изучающая систему всего живущего на Земле вместе с абиотической средой, в которой существует жизнь. Ее можно определить как науку о взаимодействиях между всем живущим на Земле (и человеком в том числе) и средой, в которой существует жизнь.

Однако уже в упомянутом учебнике Санкт-Петербургского университета дано другое определение геоэкологии. В этом учебнике под геоэкологией понимается "наука, изучающая необратимые процессы и явления в природной среде и биосфере, возникающие в результате интенсивного антропогенного воздействия, а также близкие и отдаленные во времени последствия этих воздействий". И далее, исходя из приведенного выше определения, авторы учебника определяют изучаемую геоэкологией систему как "антропогенные воздействия – эволюция природной среды и биосферы". Не будем принимать во внимание откровенные ошибки, когда под системой понимается процесс, а природная среда исключается из биосферы. В этом определении остается совершенно не понятным, что такое необратимые процессы и явления в биосфере и почему эта наука изучает процессы и явления, возникающие только в результате интенсивного антропогенного воздействия, и что такое "интенсивное" антропогенное воздействие? Поэтому такое определение геоэкологии как науки нельзя, по-видимому, признать даже неудачным – оно просто неверное. Можно было бы попытаться определить геоэкологию как науку, изучающую систему человек – биосфера. Вычленение человека из биосферы и изучение их взаимодействия действительно является предметом изучения экологии, поскольку человек в своей деятельности стал, по выражению В.И. Вернадского, геологической силой, способной определять эволюцию биосферы. Кроме того, хотим мы того или не хотим, но мы

всегда рассматриваем эволюцию и функционирование биосферы прежде всего, с позиций ее влияния на развитие человеческого сообщества. Но такое определение значительно сужало бы понятие геоэкологии как науки, и, кроме того, эта система является предметом изучения отдельного раздела экологии – экологии человека.

Интересным и в целом близким к нашему определению является определение геоэкологии данное Г.Н. Голубевым (Геоэкология, 1999 г.) Геоэкология – это междисциплинарное научное направление, изучающее экосферу как взаимосвязанную систему геосфер в процессе ее интеграции с обществом. При этом под экосферой понимается тонкая поверхностная оболочка, где пересекаются геосферы (атмосфера, геосфера, литосфера и биосфера), и где живет и действует человек. Здесь непонятно только одно, что же такое биосфера, если из нее выделены атмосфера, гидросфера и литосфера? Если под биосферой в данном случае понимать только биоту, то тогда с таким определением геоэкологии вполне можно согласиться.

Основным объектом изучения геоэкологии, в нашем понимании является биосфера Земли – система самого высокого иерархического уровня, которая включает человечество как элемент очень важный, может быть на данном этапе самый главный, но элемент системы.

Давайте уточним, что же такое биосфера? Необходимость этого вызвана тем, что в отечественной литературе на каждом шагу приходится сталкиваться с неоднозначной ее трактовкой.

Термин "биосфера" был предложен еще Ламарком, но ввел этот термин в употребление В.И. Вернадский. Биосфера – это часть планеты, которая включает совокупность живых существ и в которой возможна постоянная жизнь. Это самая крупная и наиболее близкая к идеалу "самообеспечения" биологическая система. Она включает все живые организмы и всю взаимодействующую с ними физическую среду Земли. Через нее проходит поток энергии от Солнца, который частично поглощается, частично переизлучается в космическое пространство. Важно, что в этой системе поддерживается состояние устойчивого равновесия.

Литосфера, атмосфера и гидросфера – это три физические среды, которые образуют биосферу, являются ее составляющими, в которых осуществляется жизнь. Иногда высказывается мнение, что воздух, вода и земля даны нам свыше в том виде, в каком они есть, и таковыми они и останутся, и только с жизнью на Земле могут

происходить какие-то катаклизмы. На самом деле, все эти три физические оболочки планеты теснейшим образом связаны с наличием жизни и сформировались вместе с развитием жизни на Земле. Если бы на Земле не зародилась жизнь, то и атмосфера, и гидросфера, и литосфера были бы во многом другими. Но и зарождение, и развитие жизни на Земле стало возможным потому, что многие параметры нашей планеты оказались такими, какие они есть. Поэтому биосфера включает в себя не просто среду обитания, а среду, сформировавшуюся в результате длительного взаимодействия живого и неживого в процессе эволюции Земли.

Современная биосфера, как экологическая система высшего порядка, является итогом планетарного непрерывного, направленного и необратимого развития на протяжении почти 4 млрд. лет. Установлены неравномерность темпов этого развития, критические рубежи экосистемных перестроек, великие вымирания в развитии органического мира Земли и великие экспансии в захвате освобождающихся экологических ниш, связь этих процессов с изменениями состояния литосферы, гидросферы, атмосферы и с эволюцией геохимических и геодинамических циклов планеты. Анализ факторов нарушения и восстановления экологической устойчивости в геологическом прошлом позволяет вскрыть "нормальный", естественноисторический ход эволюции биосферы, особенно важный для новейшего этапа геологической истории, и прогнозировать этот процесс с учетом "поправки" на антропогенное воздействие. Исследование геологического процесса и эволюции биосферы имеют принципиальное значение для оценки современного состояния биосферы, прогнозирования ее судьбы и для выработки путей ослабления воздействия на нее человека.

Поэтому первые три главы учебного пособия посвящены именно проблемам образования Земли, биосферы и ее эволюции.

Фундаментальной проблемой геоэкологии является вопрос об устойчивости биосферы и факторах, определяющих или нарушающих ее устойчивость. В данном направлении сделано еще мало, но это один из центральных вопросов современной экологии вообще, начиная с аутэкологического уровня до биосферы в целом. Этому вопросу посвящена четвертая глава.

Деятельность человека на современном этапе привела к таким последствиям, которые начинают сказываться на функционировании всей биосферы как единой системы. Это связано, в первую оче-

редь, с деградацией почв, загрязнением атмосферы и гидросферы, направленным уничтожением биоты Земли. Но здесь все далеко не так просто, как это иногда следует из средств массовой информации. К сожалению, наряду с действительно важными, глобальными проблемами, являющимися приоритетными для охраны природы, существуют и мнимые проблемы, которые носят скорее второстепенный характер, с точки зрения стратегии охраны природы на Земле. Краткий анализ основных глобальных экологических проблем (рост народонаселения, сокращение биологического разнообразия, деградация почв и загрязнение атмосферы и гидросферы и др.) дан в последующих главах курса.

Наряду с возможным нарушением устойчивости биосферы из-за воздействия человека на природу, что угрожает самому существованию человечества, еще одним фактором, также угрожающим жизни человека на Земле, часто называют исчерпание природных ресурсов, обеспечивающих эту жизнь. Это важный вопрос и правильная оценка современного состояния обеспеченности материальными ресурсами, и прежде всего пищевыми ресурсами жизни и деятельности человека, во многом определяет и стратегию развития человеческого общества. Этой проблеме посвящена предпоследняя глава.

Последняя глава посвящена приоритетным проблемам геоэкологических исследований, которые наиболее полно были сформулированы в Международной геосферно-биосферной программе (МГБП), в Программе биосферных и экологических исследований бывшей АН СССР в конце 80-х годов и биосферному мониторингу Земли.

В заключение попробуем сформулировать основную цель геоэкологических исследований. По-видимому, она достаточно проста и, с нашей точки зрения, состоит в поиске путей обеспечения нормального существования человеческого общества в настоящем и будущем. Человек является элементом биосферы. Поэтому геоэкологические исследования должны быть направлены на сохранение биосферы, способной обеспечить сохранение жизни человека на Земле. Бессмысленно ставить вопрос о спасении природы и даже жизни на Земле, ставя под угрозу жизнь самого человека. Что является определяющими, с точки зрения сохранения биосферы, в которой успешно может существовать и развиваться вид Homo sapiens, по-видимому, главный вопрос, на который должна дать ответ наука, к изучению которой мы приступаем.

Часть I.
ОБРАЗОВАНИЕ, ЭВОЛЮЦИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ БИОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Глава 1. ЭВОЛЮЦИЯ ЗЕМЛИ КАК ПЛАНЕТЫ

Вопросы образования Земли и ее эволюции интересовали ученых с давних пор. Высказывались различные гипотезы, разрабатывались теории, часто противоречащие друг другу. Положение дел в геологической науке вплоть до конца 60-х годов прошедшего столетия было таково, что чем больше накапливалось данных о строении участков земной поверхности на материках, тем более запутанной и противоречивой казалась общая картина развития Земли. Только после того как благодаря комплексному исследованию строения и динамики дна Мирового океана были получены принципиально новые данные и сформулированы новые идеи, была создана принципиально новая теория тектоники литосферных плит. Именно она, произведя по существу революцию в науках о Земле, позволила разработать современную теорию происхождения Земли и ее эволюции, которая является основой для понимания возникновения жизни на Земле и ее развития. Русские ученые внесли огромный вклад в разработку этой теории. Она возникла на основе органического слияния теории тектоники литосферных плит, современной космогонической концепции о происхождении Земли и гидродинамической теории, описывающей конвективный массообмен в мантии Земли. Наиболее полно теория происхождения Земли и ее эволюция была изложена известными российскими учеными – Олегом Георгиевичем Сорохтиным и Сергеем Александровичем Ушаковым в книге "Глобальная эволюция Земли" (1991 г.), которые сами внесли существенный вклад в создание этой теории. В учебном пособии возможно лишь кратко остановиться на тех основных вопросах из этой книги, которые потребуются нам в дальнейшем для понимания основных экологических проблем эволюции биосферы на Земле.

1.1. Происхождение солнечной системы и образование Земли

Согласно современным космогоническим представлениям, исходное газопылевое протосолнечное-протопланетное облако образовалось из межзвездного газа и скопления пыли, характерных для нашей и других галактик. Происхождение газа и пыли связано с взрывами крупных звезд, полностью прошедших свой эволюционный путь. Взрывы таких крупных звезд называют вспышками "сверхновых" звезд. Во время взрыва их светимость возрастает в миллиарды раз, и они становятся наиболее яркими объектами в своих галактиках.

После образования Вселенной во время "Большого взрыва" около 20 млрд. лет назад, ее пространство заполнялось только излучением и стремительно расширяющимся веществом – протонами, электронами, ядрами гелия, нейтрино и другими элементарными частицами. Более тяжелых элементов в те далекие времена еще не существовало. Только после возникновения на флуктуационных сгустках вещества первых протогалактик, состоявших из массивных, но простейших водородно-гелиевых протозвезд, в их недрах за счет протекания ядерных реакций постепенно стали формироваться все более тяжелые элементы вплоть до железа включительно.

Согласно существующей теории крупные звезды такого типа (превышающие массу Солнца в несколько раз) неустойчивы и заканчивают свою эволюцию гигантскими взрывами. Эволюция таких массивных звезд происходит тем быстрее, чем больше исходная масса звезды. Во время взрыва звезды за несколько минут выделяется столько энергии, сколько могло бы выделиться за многие миллионы лет ее эволюционного развития. Взрыв звезды приводит к ускоренному протеканию всевозможных реакций ядерного синтеза, в том числе к формированию элементов более тяжелых, чем железо, и к сбрасыванию оболочки звезды в межзвездное пространство. Преобразованное вещество оболочки стремительно разлетается в стороны, а на месте бывшей "нормальной" звезды остается нейтронная звезда или даже "черная дыра".

За время существования Вселенной уже сменилось несколько поколений звезд, рассеявших вещество своих оболочек по межзвездному пространству. Исходным материалом для формирования каждой новой генерации звезд служило вещество, сброшенное пре-

дыдущим поколением сверхновых звезд. Поэтому и суммарный состав вещества, послужившего основой для формирования Солнечной системы, должен иметь следы длительной истории развития Вселенной. Нахождение в метеоритах следов распада некоторых из короткоживущих изотопов ряда элементов позволило ученым утверждать, что незадолго перед образованием Солнечной системы произошли взрывы двух звезд новой генерации, причем последний из взрывов, обогативший протопланетное вещество изотопами ^{244}Pu, ^{26}Al и ^{129}I, скорее всего и послужил толчком к началу формирования из межзвездного облака Солнца и его планетной системы.

Согласно современным космогоническим представлениям, заложенным в прошлом веке О.Ю. Шмидтом в начале 40-х годов и В.С. Сафроновым в 60-х годах Земля, Луна и другие планеты Солнечной системы образовались за счет аккреции (слипания и дальнейшего роста) твердых частиц газопылевого облака. Обычно исходная плотность межзвездных облаков недостаточна для самопроизвольного развития в них процессов звездо- и планетообразования. Однако взрывы «сверхновых» звезд сопровождаются возникновением в межзвездной среде ударных волн. Если такие волны пересекают газопылевое облако, то на их фронте резко повышается давление и плотность вещества, и могут возникнуть сгущения, которые в дальнейшем способны сжиматься уже за счет самогравитации. Поэтому взрывы сверхновых звезд выполняют две функции: они поставляют новое вещество в космическое пространство и служат тем толчком, который приводит к началу формирования новых поколений звезд и окружающих их планетных систем.

Можно предположить, что именно такая ситуация возникла около 4,7 млрд. лет назад вблизи бывшего протосолнечного газопылевого облака, получившего импульс начального сжатия и вращения, и наполнившегося новым веществом. Это облако в дальнейшем начало необратимо сжиматься уже под действием собственных гравитационных полей. По мере сжатия давление и температура в центральной части облака быстро повысились, и постепенно в этой зоне сформировался гигантский газовый сгусток – Протосолнце. Однако вначале, до «зажигания» ядерных реакций и выхода Протосолнца на режим главной последовательности развития звезд, его температура была сравнительно невысокой (900 – 1000 ^{o}C), а

излучение происходило только в инфракрасном и красном диапазоне спектра.

Одновременно со сжатием протосолнечного облака под влиянием центробежных сил его периферийные участки стягивались к экваториальной плоскости вращения облака, превращаясь в плоский диск – протопланетное облако. Плотность вещества в последнем быстро возрастала, особенно в экваториальной плоскости его вращения. Возрастала при этом вероятность столкновения частиц и их слипания, в результате чего появились первые, правда, еще небольшие (порядка сантиметров, но не более нескольких метров) зародышевые тела будущих планет – планетезималей. Дальнейшее их уплотнение привело к образованию более крупных тел с поперечными размерами в десятки и даже сотни километров. У таких крупных планетезималей появились собственные гравитационные поля, что еще больше увеличило их эффективные поперечные сечения захвата мелких тел. Поэтому крупные планетезимали росли быстрее мелких. В результате одно из таких более крупных протопланетных тел в конце концов превратилось в зародыш нашей планеты.

Формирование Солнца как нормальной желтой звезды не очень больших размеров происходило значительно быстрее, чем формирование планет – всего за несколько миллионов или за первые десятки миллионов лет. При этом перед выходом на режим главной последовательности развития Солнце прошло через короткую стадию существования звезд типа *T*-Тельца, характеризующихся быстрым вращением, сильными магнитными полями и очень высокой интенсивностью излучения звездного ветра (высокоэнергетического потока заряженных частиц).

Эти особенности эволюции молодого Солнца повлияли на условия аккреции вещества в его протопланетном диске. Во-первых, из-за исключительно сильного солнечного ветра из околосолнечного пространства на далекую периферию Солнечной системы были выметены все газовые летучие компоненты исходного протопланетного облака.

Во-вторых, ионизирующее влияние солнечного ветра на окружающее вещество должно было привести к сильному взаимодействию магнитного поля Солнца с веществом протопланетного диска. По-видимому, именно в результате такого эффективного магнитного

«зацепления» быстро вращавшегося молодого Солнца и произошло перераспределение момента количества движения от центрального светила к периферии протопланетного диска. Этот же механизм, вероятно, приводил и к заметной сепарации вещества в протопланетном облаке, поскольку все легко ионизирующиеся элементы под влиянием этого механизма быстрее удалялись на периферию диска.

В-третьих, существенное влияние на химическую дифференциацию вещества в протопланетном облаке оказал больший прогрев центральных областей диска еще на стадии его сжатия интенсивной вспышкой излучения молодого Солнца при прохождении им стадии развития звезды типа *T*-Тельца. В результате в центральных областях диска конденсировались преимущественно тугоплавкие элементы и соединения (Al_2O_3, CaO, MgO, Ti_2O_3, SiO_2, CrO_3, FeO, Fe, Ni и др.), а легкоплавкие компоненты (щелочные металлы, гидросиликаты, карбонаты, Zn, Pb, Se, S, FeS и др.) испарялись или диссоциировали с потерей летучих компонент, которые, как и другие летучие компоненты, под действием сильного солнечного ветра оттеснялись к периферии Солнечной системы.

Только этим, по-видимому, можно объяснить явную зависимость плотности планет от их расстояния от Солнца (внутренние планеты: Меркурий – 5,44 г/см^3; Венера – 5,24; Земля – 5,52; Марс – 3,94; внешние планеты: Юпитер – 1,33; Сатурн – 0,70; Уран – 1,30; Нептун – 1,67). Этим же объясняется и то, что внешние планеты обладают массивными газовыми оболочками, а их спутники покрыты мощными ледниками, отложениями серы и другими замерзшими легкоплавкими соединениями.

Судя по составу и сравнительно разреженной атмосфере, Земля, как и другие планеты земной группы, формировалась из вещества, почти полностью потерявшего все газовые составляющие, резко обедненного силикатами, карбонатами, серой и ее соединениями и заметно обедненного подвижными элементами – щелочными и другими легкоплавкими металлами.

Расчеты В.С. Сафронова (1969) – одного из создателей современной теории планетообразования – показывают, что рост Земли происходил во все ускоряющемся режиме аккреции, но после исчерпания запасов вещества в околоземном рое планетезималей – этих первичных сгустков в протопланетном облаке, замедлился. При ак-

креции Земли выделилось гигантское количество энергии – $23{,}3 \cdot 10^{38}$ эрг. Этой энергии достаточно не только для расплавления Земли, но и для ее полного испарения. Однако большая часть этой энергии выделялась в самых приповерхностных слоях растущей Протоземли и терялась ею с тепловым излучением в космическое пространство. По расчетам В.С. Сафронова, формирование Земли до уровня 99 % ее современной массы составило примерно 100 млн. лет.

Этот результат важен, поскольку показывает, что Земля в процессе роста не только разогревалась от ударов падавших на нее планетезималей, но и успевала остывать, излучая через свою поверхность большую часть энергии. В результате температура в недрах растущей Земли повсеместно оставалась ниже температуры плавления недифференцированного первичного земного вещества, а следовательно, и сама Земля в то время оставалась еще недифференцированной планетой без ядра и земной коры, которую она имеет сейчас.

Подчеркнем еще раз, что образование Солнца и дифференциация протопланетного вещества в процессе формирования Солнца произошли достаточно быстро – за несколько миллионов лет или за десятки миллионов лет. Аккреция Земли и других планет продолжалась значительно дольше – около 100 млн. лет, уже после того, как дифференциация вещества в околосолнечном пространстве закончилась. Отсюда следует важный вывод: аккреция планет в кольцевых областях их питания (обладавших к тому же конечной шириной) в основном была гомогенной. А это значит, что средний химический состав формирующихся планет при отсутствии в них процессов дифференциации оставался примерно постоянным от их центра до поверхности.

Таким образом, потребовалось около 100 млн. лет, чтобы сформировалась первичная однородная и относительно холодная Земля без атмосферы и гидросферы.

1.2. Образование двойной планеты Земля – Луна, роль Луны в эволюции Земли

Земля и Луна фактически представляют собой систему двойной планеты. Их влияние друг на друга сейчас невелико, хотя и вполне заметно. На ранних же этапах развития оно было исключительно сильным. Луна, как спутник нашей планеты, послужила тем спусковым

Российский государственный гидрометеорологический университет
БИБЛИОТЕКА
195196, СПб, Малоохтинский пр., 98

механизмом, который запустил механизм тектонического развития Земли, "раскрутил" нашу планету и определил наклон оси ее вращения.

Согласно модели О.Г. Сорохтина и С.А. Ушакова, вначале Протолуна была самостоятельной планетой, орбита которой находилась недалеко от орбиты Земли и была захвачена гравитационным полем Земли. Масса Протолуны была больше массы современной Луны, по крайней мере, более чем в 2,3 раза. При захвате Протолуны на околоземную орбиту ее первоначальный эксцентриситет был очень большим, а период обращения вокруг Земли был, наоборот, очень небольшим – около 20 ч.

В это же время Земля вращалась вокруг своей оси значительно медленнее, чем сейчас. Скорость вращения современной Земли $\Omega = 7{,}27 \cdot 10^{-5} с^{-1}$, а орбитальная скорость движения современной Луны вокруг Земли $\omega = 2{,}66 \cdot 10^{-6} с^{-1}$. У Протолуны $\omega_{pl} \approx 8{,}5 \cdot 10^{-5} с^{-1}$ и $\omega_{pl} >> \Omega_{pg}$.

При таких условиях приливное взаимодействие Земли и Луны должно было приводить к замедлению вращения Луны вокруг Земли и ускорению вращения Земли. Рассмотрим механизм такого взаимодействия.

Благодаря гравитационному притяжению Земли и Луны в их телах возникают приливные деформации – вздутия, или горбы. Приливные горбы этих планет своим дополнительным притяжением оказывают влияние на их движение. Так, притяжение обоих приливных горбов, имеющихся у Земли, создает двойную силу, действующую как на саму Землю, так и на Луну. Однако влияние вздутия, обращенного к Луне, несколько сильнее.

В связи с тем что угловая скорость вращения современной Земли существенно превышает орбитальную угловую скорость движения Луны, а вещество планет не является идеально упругим, приливные горбы Земли как бы увлекаются ее вращением вперед и заметно опережают (примерно на 2,16 °) движение Луны. Это приводит к тому, что максимальные приливы на Земле всегда наступают несколько позже момента кульминации Луны, а на Землю и на Луну действует дополнительный момент сил (рис. 1.1 б). В современный период на Земле действует сила F, замедляющая вращение

Земли, а на Луну – сила *f*, ускоряющая ее орбитальное вращение, вследствие чего Луна постоянно удаляется от Земли.

В момент же захвата Луны Землей, из-за того, что $\omega_{pl} >> \Omega_{pg.}$, силы приливного взаимодействия Земли и Луны были направлены в противоположные стороны (рис. 1.1 а) и сила F_y приводила к ускорению вращения Земли, а сила $f_з$ замедляла орбитальное вращение Луны вокруг Земли.

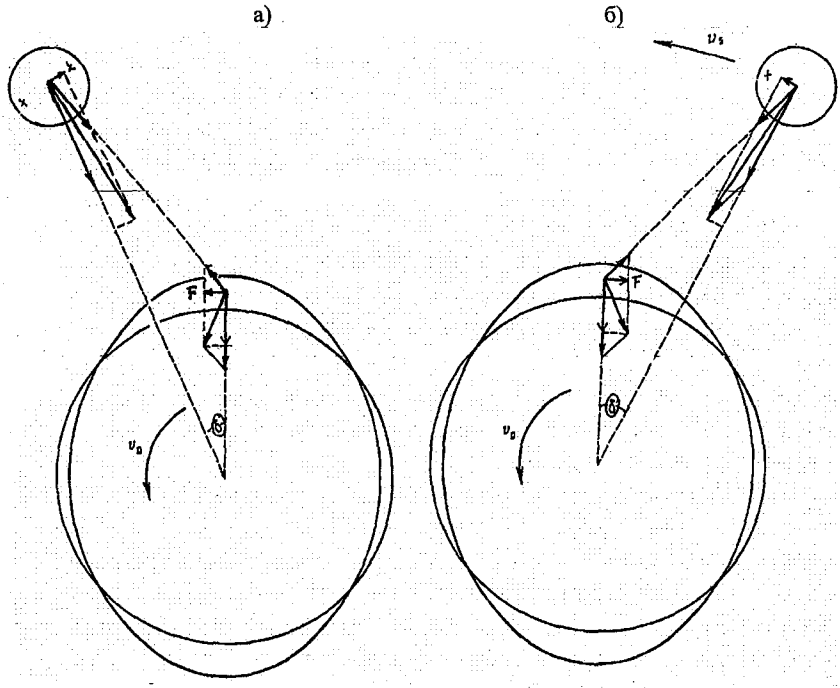


Рис. 1.1. Схема приливного взаимодействия Протоземли с Протолуной (а) и Земли с Луной (б).
F – приливная сила, ускоряющая или тормозящая вращение Земли; *f* – приливная сила, тормозящая или ускоряющая орбитальное вращение Луны; δ – угол опережения или запаздывания приливов.

Вследствие того, что масса Протоземли была значительно больше массы Протолуны, и радиус орбиты Луны был относительно мал (по-видимому, менее 10–12 радиусов Земли), в Протолуне только за счет радиальных приливных деформаций должно было

выделиться около $1{,}5 \cdot 10^{37}$ эрг тепловой энергии. Это должно было разогреть Луну до 1700 – 3700 °С. К этому следует добавить еще и дополнительную энергию гравитационной дифференциации Протолуны, которая неизбежно должна была произойти после ее расплавления (при таких температурах большинство магматических пород плавится). Это добавило еще около 10^{36} эрг тепловой энергии и дополнительный разогрев на 250 °С. Поэтому даже несмотря на интенсивное поверхностное охлаждение Протолуна после ее захвата Землей должна была полностью расплавиться и сильно перегреться.

Естественно, диссипация приливной энергии происходила и на Земле, и ее должно было выделиться за время эволюции системы, которое оценивается О.Г. Сорохтиным и С.А. Ушаковым всего в 10 000 лет, около $1{,}25 \cdot 10^{37}$ эрг. Но такого тепла хватило бы для повышения температуры Земли всего на 180 °С, что недостаточно для ее расплавления.

С замедлением скорости орбитального вращения и приближением Протолуны к Земле ее тело все более деформировалось приливными силами и вытягивалось вдоль продольной оси, направленной к планете. Начиная с некоторого расстояния от планеты, известного как предел Роша ($h_R \approx 2{,}7\ R_{pg}$, где R_{pg} радиус Земли), приливные силы становятся больше сил гравитации, и спутник теряет свою устойчивость и разрушается.

По оценкам выше упомянутых авторов, скорость сближения Протолуны с Протоземлей была большой. Внутренний горб Протолуны вместе с плотным железным ядром после взрыва устремились к Земле, а внешний приливной горб получил инерционную отдачу и перешел на более удаленную от Земли орбиту. По расчетам быстрое разрушение обращенной к Земле половины Протолуны вместе с ее железным ядром должно было отбросить оставшуюся массу внешнего приливного горба (состоящего из прошедшего дифференциацию силикатного вещества) на орбиту с перигеем около четырех земных радиусов, т.е. вывести формирующуюся Луну далеко за пределы Роша.

К этому времени, за счет выпадения на Протоземлю большей части протолунного вещества, ее масса выросла до современной массы Земли, а угловая скорость увеличилась до $\Omega = 2{,}87 \cdot 10^{-4} \text{с}^{-1}$. У молодой Луны, находящейся на расстоянии $2{,}6 \cdot 10^{9}$ см от Земли,

согласно закону Кеплера эта скорость должна была быть равной $\omega \approx 1{,}52 \cdot 10^{-4} с^{-1}$. Следовательно, после инерционного отброса внешнего приливного горба разрушенной Протолуны для новой Луны стало выполняться неравенство $\Omega > \omega$, и после этого момента сформировавшаяся Луна стала быстро отдаляться от Земли.

Так образовалась современная система двойной планеты Земля – Луна. Такой историей ее образования объясняется и то, что средняя плотность Луны всего 3,34 г/см^3, а у Земли – 5,52 г/см^3. Луна содержит почти в три раза меньше железа, чем его содержится в земном веществе.

Процесс сближения планет и разрушение спутника занял по оценкам около 15 000 лет. При этом само разрушение произошло за 80–100 лет. За этот период произошло и раскручивание Земли (с $T_1 = 14{,}5$ ч. до $T_2 = 5{,}6$ ч.).

Дальнейшая эволюция системы заключалась в том, что Луна в первый милиард лет довольно быстро удалялась от Земли, а Земля замедляла свое вращение вокруг оси. Так, около $4{,}0 \cdot 10^9$ лет назад Луна уже была на расстоянии $L \approx 1{,}56 \cdot 10^{10}$ см, а еще через 400 млн. лет – на расстоянии $L \approx 3{,}00 \cdot 10^{10}$ см. Современное расстояние Земли от Луны $L \approx 3{,}844 \cdot 10^{10}$ см. В этой же пропорции увеличивалось время обращения Земли вокруг своей оси.

1.3. Состав и строение первичной Земли

Из всего ранее сказанного можно сделать два важных вывода:

1) молодая Земля в конечный период своего образования была относительно холодным космическим телом, и нигде в ее недрах температура не превышала температуру плавления земного вещества;

2) Земля имела достаточно однородный состав.

Состав первичного вещества Земли был получен путем мысленного смешения вещества основных геосфер Земли: мантии, ядра и земной коры. Результаты такого расчета приведены в табл. 1.1 в сопоставлении с составами современной мантии и углистых хондритов первого типа – наименее дифференцированных метеоритов, обычно принимаемых за эталон среднего состава протопланетного вещества.

Таблица 1.1

Состав первичного вещества Земли и современной мантии (по О.Г. Сорохтину и С.А. Ушакову)

Элементы и окислы	Состав первичного вещества Земли, %	Состав современной мантии, %	Средний состав углистых хондритов, %
SiO_2	31,11	45,7	33,0
TiO_2	0,14	0,2	0,11
Al_2O_3	2,56	3,7	2,53
Fe_2O_3	–	8,2	–
FeO	23,81		22,0
MnO	0,07	0,1	0,24
MgO	26,14	38,4	23,0
CaO	1,57	2,3	2,32
Na_2O	0,16	0,3	0,72
K_2O	0,02	0,1	–
Cr_2O_3	0,27	0,4	0,49
P_2O_5	–	–	0,38
NiO	0,07	0,1	–
FeS	0,55	–	13,6
Fe	13,21	–	–
Ni	0,20	–	–

Как видно из табл. 1.1, первичное вещество Земли примерно на 75 % было сложено оливином $(MgFe)_2SiO_4$. По сравнению со средним составом протопланетного вещества оно было обеднено водой в 200 – 250 раз, калием – в 4 – 5 раз, углеродом – приблизительно в 1000 раз. Такие соединения, как метан или аммиак, по-видимому, были практически выметены солнечным ветром из области формирования планеты и не попали на Землю. Дефицит благородных газов на Земле достигает $10^{-6} – 10^{-14}$. Все эти элементы и соединения в небольших количествах все же могли попасть на Землю, но только в связанном состоянии: вода с гидросиликатами, CO_2 в виде карбонатов, азот в составе нитритов и нитратов и т.д. И лишь самые ничтожные количества первичных газов, в том числе и благородных, попадали на Землю, адсорбируясь на поверхностях рыхлых и пористых частиц исходного протопланетного вещества. Относительно среднего состава планет Земля была обогащена железом и его окислами (на 50 – 60 %) и обеднена серой (в 10 раз).

В те далекие времена на Земле не существовало ни земной коры, ни мантии, ни земного ядра. Все это появилось значительно позже, с наступлением геологического развития Земли. Плотность вещества на поверхности молодой Земли достигала 3,9 – 4,0 г/см^3, а к центру повышалась до 7,2 г/см^3. У современной Земли плотность на поверхности составляет 3,3 г/см^3, а в ее центре – 14,38 г/см^3.

Поверхностные слои Земли в течение всего периода ее формирования состояли из мелкопористого реголита. Поскольку сорбционная способность такого грунта исключительно высока, он активно поглощал все остатки летучих элементов и соединений, которые захватывались Землей из протопланетного облака. Это полностью относится к воде и углекислому газу, освобождавшимися при испарении падавших на Землю планетезималей, которые сразу же связывались с ультраосновным по составу реголитом, например, благодаря реакции серпентизации:

$$4Mg_2SiO_4 + 4H_2O + 2CO_2 \rightarrow Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8 + 2MgCO_3.$$

Поскольку, как уже указывалось ранее, протопланетное вещество было обеднено H_2O и CO_2, то такой процесс серпентизации и аналогичные ему реакции гидратации реголита полностью поглощали и погребали под новыми наслоениями земного вещества практически все поступавшие на Землю количества воды и углекислого газа. Из всех поступивших элементов лишь тяжелые благородные газы (Ne, Fr, Kr и Xe), попадавшие на Землю в исключительно малых количествах, еще могли сохраняться в газовой фазе.

Из всего сказанного вытекает важный вывод – первичная Земля не имела ни гидросферы, ни настоящей атмосферы. В тот период молодая Земля могла обладать лишь разреженной атмосферой из благородных газов и быть может только со следами азота. Давление в такой примитивной атмосфере не превышало $(1,5–2,0)\cdot10^{-5}$ атм. или 0,011–0,015 мм рт. ст.

1.4. Догеологическое развитие Земли в катархее

На ранних этапах планетарной эволюции Земли ее строение, состав, тепловое состояние и "приливная" тектоника настолько резко отличались от всех последующих режимов геологического развития Земли, что эту уникальную эпоху, продолжавшуюся около

600 млн. лет, от момента рождения нашей планеты (приблизительно 4,6 млрд. лет назад) до начала раннего архея (4,0 млрд. лет назад), принято выделять в качестве самостоятельного периода истории нашей планеты – катархея.

В те далекие времена на нашей планете мы увидели бы только неприветливую, суровую и холодную пустыню с черным небом, яркими немерцающими звездами, желтым слабо греющим Солнцем (его светимость тогда была приблизительно на 25 % ниже современной) и непомерно большим диском Луны. Однако из-за сильных и практически непрерывных приливных землетрясений этот рельеф был существенно сглажен и сложен только монотонно темно-серым первичным веществом.

Пустынный пейзаж Земли временами нарушался еще беззвучными взрывами падавших на Землю остаточных планетезималей. На короткое время после их ударов в образовавшихся кратерах появлялись расплавы, образуя подобия лавовых озер, но и они, лишенные источников подпитывающей их энергии, быстро остывали. Частота падения протопланетных планетезималей со временем быстро сокращалась. Только в экваториальной зоне молодой Земли в то время еще продолжали выпадать из спутниковых роев недавно разрушенной Протолуны обильные потоки мелких каменных и железных обломков. Поэтому земная поверхность в экваториальной зоне в течение нескольких первых тысяч лет оставалась раскаленной.

Удивительным было тогда стремительное движение Солнца по небосводу: всего за 3 часа оно пересекало небосвод, а еще через 3 часа снова всходило на востоке. Лунный диск был в 300 – 350 раз больше современного. Фазы Луны менялись буквально на глазах. В самом начале своего существования Луна была еще существенно горячей Земли и излучала тепловую энергию в красной и инфракрасной частях спектра. Поэтому днем и ночью помимо отраженного солнечного света она светилась темно-красным светом и в связи со своими огромными видимыми размерами заметно обогревала земную поверхность.

Поразительным было и наличие у Земли диска мелких частиц, вращавшихся вокруг нее на орбитах, близких к экваториальной плоскости. Траектории отдельных частиц сливались воедино и создавали иллюзию существования у Земли сплошных полупрозрачных колец типа дисков Сатурна.

В момент своего образования, как уже было сказано выше, Луна вращалась вокруг Земли по очень близкой орбите ($L_{4,6} \approx 4R \approx$ $\approx$ 25,5 тыс. км). (В настоящее время Луна удалена от Земли на расстояние 384,4 тыс. км.) Поэтому высота приливов на Земле в те далекие времена была очень большой и составляла 1,5 км. Приливные деформации буквально сотрясали Землю. Но уже через миллион лет после образования Луны высота приливов на Земле снизилась до 130 м, еще через 10 млн. лет – до 45 м, а через 100 млн. лет – до 15 м. К концу катархея, около 4,0 млрд. лет назад, высота приливов была равна 7 м. Современные приливы в твердой оболочке нашей планеты имеют высоту примерно 46 см.

Стремительное удаление Луны от Земли в раннем катархее и, как следствие, резкое снижение приливной энергии, рассеиваемой в недрах молодой Земли, спасло ее не только от перегрева, но и быстро снизило уровень приливной сейсмичности нашей планеты. В начале катархея энергия приливных землетрясений примерно в 17 000 раз превосходила энергетический уровень современной сейсмичности Земли. Через 100 млн. лет оно снизилось более чем в 1000 раз, а к концу катархея – еще в 6 раз. Необходимо помнить, что природа и характер проявления сейсмичности молодой Земли в тот период принципиально отличались от сейсмичности современной Земли. Это были землетрясения исключительно экзогенного происхождения, связанные с перемещением в теле Земли приливной волны. Кульминации землетрясений происходили дважды за каждый оборот Земли относительно Луны и достигали наибольшей интенсивности в экваториально-тропическом поясе Земли.

1.5. Энергетика Земли

К основным первичным источникам энергии Земли, запасенным ею еще в процессе своего образования, можно отнести часть энергии гравитационной аккреции земного вещества и энергию сжатия земных недр.

За время образования Земли (порядка 10^8 лет) энергия аккреции, равная потенциальной энергии первичной Земли, взятой с обратным знаком, оценивается $E_a = 23{,}61 \cdot 10^{38}$ эрг. Часть полной энергии аккреции ушла на упругое сжатие земных недр $E_c \approx 3{,}48 \cdot 10^{38}$ эрг. Остальная часть энергии $E\theta_0 \approx 20{,}13 \cdot 10^{38}$ эрг перешла в тепло. Если

бы Земля не теряла интенсивно тепло через поверхность в космос, то ее температура могла бы подняться до $T \approx 30\,000\ ^{o}C$, и земное вещество полностью испарилось бы. Однако в действительности такого интенсивного разогрева не возникло, поскольку формирование Земли происходило в течение 100 млн. лет, а энергия ударов планетезималей выделялась только в приповерхностных слоях растущей Земли и поэтому быстро терялась с тепловым излучением планеты. Первичный разогрев Земли скорее всего не был большим, а максимальная температура наблюдалась на глубинах 700–1000 км и достигала 1600–1800 К.

После образования Земли к основным энергетическим процессам, развивающимся в ее недрах, можно отнести три процесса. Первый – процесс приливного взаимодействия Луны с Землей, который начал действовать с момента захвата Землей Протолуны. Второй – процесс распада радиоактивных элементов. Третий – процесс гравитационной дифференциации земного вещества. Все остальные источники несоизмеримо меньше. Значительно больший тепловой поток солнечного излучения после ряда преобразований в атмосфере, гидросфере и биосфере и поверхностных слоях земной коры почти полностью отражается Землей, и поэтому он активно влияет только на процессы на поверхности Земли.

1.5.1 Энергия приливного взаимодействия Земли и Луны

Поскольку после образования Земли и Луны последняя находилась недалеко от Земли, то и ее приливное воздействие на нашу планету было значительно более сильным.

Не вдаваясь в детали, нетрудно подсчитать по разности кинетических энергий, потерянных Землей и приобретенных Луной за 4,6 млрд. лет, что за это время в Земле должно было диссипировать приблизительно $3{,}3 \cdot 10^{37}$ эрг приливной энергии. Скорость выделения энергии была очень неравномерная. Сразу после образования Луны скорость выделения приливной энергии достигала гигантских значений $5{,}5 \cdot 10^{24}$ эрг/с (рис.1.2), что почти в 13 000 раз превышает скорость генерации эндогенной энергии в современной Земле.

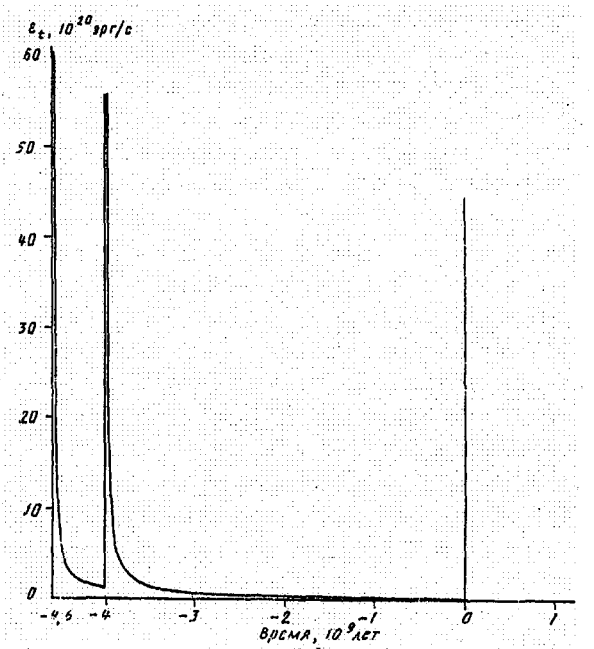


Рис. 1.2. Скорость выделения в Земле приливной энергии E_t.
(по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

Однако уже через 1 млн. лет приливная теплогенерация снизилась в 1000 раз, а еще через 100 млн. лет достигла уровня $7 \cdot 10^{20}$ эрг/с и в дальнейшем снижалась до $1{,}2 \cdot 10^{20}$ эрг/с в конце катархея – около $4{,}0 \cdot 10^9$ лет назад. За это время выделилось $2{,}1 \cdot 10^{37}$ эрг тепловой энергии приливного происхождения, и поскольку Земля в этот период еще не была стратифицирована, то приливная энергия распределялась практически по всей массе Земли и целиком уходила на ее разогрев. В результате только за счет энергии приливного взаимодействия за этот период Земля должна была прогреться на 500 °С.

Второй "тепловой" удар приливного происхождения пришелся на начало архея, сразу после появления у Земли за счет ее прогрева астеносферы. Объясняется это тем, что приливные деформации планеты в основном концентрируются в слоях с наименьшими значениями модуля жесткости и вязкости, т.е. в слоях, наиболее легко

поддающихся деформациям. После предварительного прогрева Земли в катархее и начала формирования астеносферы в раннем архее приливные деформации стали концентрироваться в основном, в слое верхней мантии (гидросферы тогда еще не было). Амплитуда второго пика была значительно меньше – приблизительно 10^{22} эрг/с.

Всего за ранний архей – (4,0–3,2)·млрд. лет назад, в верхней мантии Земли выделилось около $1 \cdot 10^{37}$ эрг тепловой энергии, причем большая часть – за первые 100 млн. лет – $0{,}6 \cdot 10^{37}$ эрг. Этой энергии хватило бы на разогрев верхней мантии еще на 500 °С. Однако, существенного разогрева ее тогда, по-видимому, еще не происходило, поскольку начавшийся процесс химико-плотностной дифференциации земного вещества приводил к тому, что тепло опускалось вниз и способствовало разогреву первоначально относительно холодных нижних слоев Земли.

Количество выделяющейся в Земле приливной энергии далее уменьшалось, особенно после образования океанов с обширными шельфами, где сейчас и расходуется основная часть энергии приливного взаимодействия Луны и Земли. Всего за первые 30 % жизни Земли выделилось 94 % приливной энергии, а за последующие 70 % – всего 6 % (рис. 1.3).

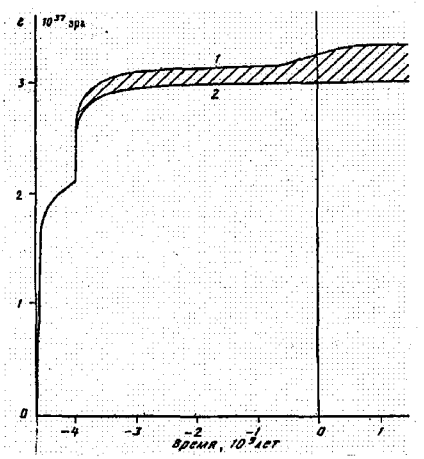


Рис. 1.3. Зависимость от времени выделившейся приливной энергии в Земле E_t (заштрихованная область – приливная энергия, выделившаяся в гидросфере Земли) (по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

Можно сказать, что приливная энергия сыграла свою исключительную роль именно на самом первом этапе жизни нашей планеты. Затем в энергетике Земли, начиная с архея и во все последующие эпохи, доминировала энергия гравитационной дифференциации Земли.

1.5.2. Энергия распада радиоактивных элементов в Земле

Идеи о радиогенных источниках тепла в Земле сыграли важную положительную роль в становлении современных взглядов на образование и эволюцию Земли. Гипотеза О.Ю. Шмидта о "холодном" происхождении Земли и других планет Солнечной системы могла появиться, безусловно, тогда, когда был открыт новый мощный источник энергии, способный расплавить земные недра (без привлечения концепции "горячего" происхождения планет) и обеспечить тектоническую активность Земли. Однако трудности с оценкой концентрации радиоактивных элементов в мантии Земли привели к значительному завышению величины выделившейся энергии за счет этого источника, а следовательно, и его роли в геологической истории Земли.

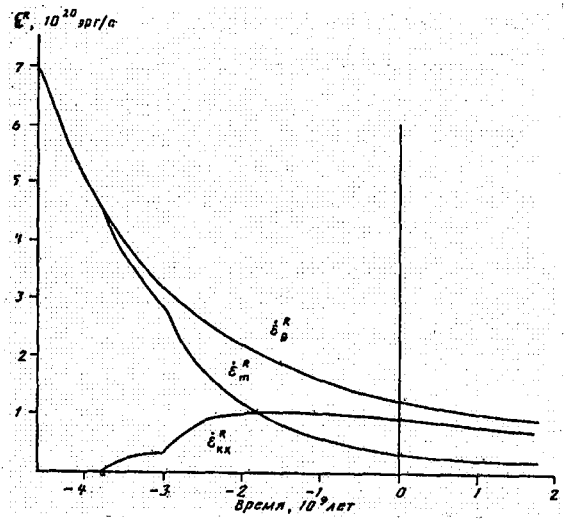


Рис. 1.4. Скорость выделения радиогенной энергии:
E_g^R – в Земле; E_m^R – в конвектирующей мантии; E_{KK}^R – в континентальной коре.
(по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

По современным оценкам за все время существования Земли выделилось около $4{,}27 \cdot 10^{37}$ эрг радиогенной энергии, причем в катархее за 600 млн. лет выделилось приблизительно $1{,}13 \cdot 10^{37}$ эрг, т.е. меньше, чем выделилось энергии за счет приливного взаимодействия Земли и Луны за то же время. За весь архей, с $4 \cdot 10^9$ до $2{,}6 \cdot 10^2$ лет назад, в Земле выделилось приблизительно $1{,}65 \cdot 10^{37}$ эрг радиогенной энергии. За остальные 2,6 млрд. лет выделилось $1{,}49 \cdot 10^{37}$ эрг энергии (рис. 1.4).

Вклад радиоактивных элементов в энергетические источники, питающие собой начало тектонической активности Земли и ее дальнейшее развитие, оказался более скромным по сравнению с приливной энергией в катархее и, как увидим далее, энергией дифференциации вещества в теле Земли. Но тем не менее этот вклад достаточно заметен как в догеологический период развития Земли, так и в последующие годы. И в настоящее время он лишь в два с небольшим раза меньше энергии дифференциации вещества Земли, притом что вклад в энергетику Земли приливного взаимодействия Земли и Луны ничтожно мал.

1.5.3. Энергия гравитационной дифференциации вещества Земли

Энергия гравитационной дифференциации земного вещества возникла тогда, когда начался процесс дифференциации земного вещества на плотное окисно-железное ядро и остаточную более легкую силикатную оболочку – земную мантию. Численно энергия гравитационной дифференциации равна разности между потенциальной энергией $U_{4,0}$ однородной Земли, которой она обладала непосредственно перед началом процесса выделения земного ядра (т.е. около $4{,}0 \cdot 10^9$ лет назад), и потенциальной энергией $U_{0,0}$ современной расслоенной Земли:

$$E_g = U_{4,0} - U_{0,0}.$$

По современным последним оценкам полная энергия гравитационной дифференциации Земли $E_g = 1{,}46 \cdot 10^{38}$ эрг, т.е. значительно превышает как энергию радиоактивного распада элементов, так и приливного взаимодействия Земли и Луны. Выделяющаяся в недрах Земли энергия гравитационной дифференциации ее вещества в большей своей части переходит сначала в кинетическую энергию

конвективных движений, а затем в тепло, а часть энергии расходуется на дополнительное сжатие земных недр, возникающее благодаря концентрации плотных фаз в центральных зонах Земли.

Графики выделения и скорости генерации тепловой компоненты гравитационной энергии приведены на рис. 1.5 и 1.6. Из приведенных графиков видно, что повышенная скорость выделения гравитационной энергии наблюдалась уже в самом раннем архее (около 4,0–3,8·10^9 лет назад) – в то время выделялось в виде тепла примерно 8,5·10^{20} эрг/с гравитационной энергии, или почти в 3 раза больше, чем сейчас (около 3·10^{20} эрг/с).

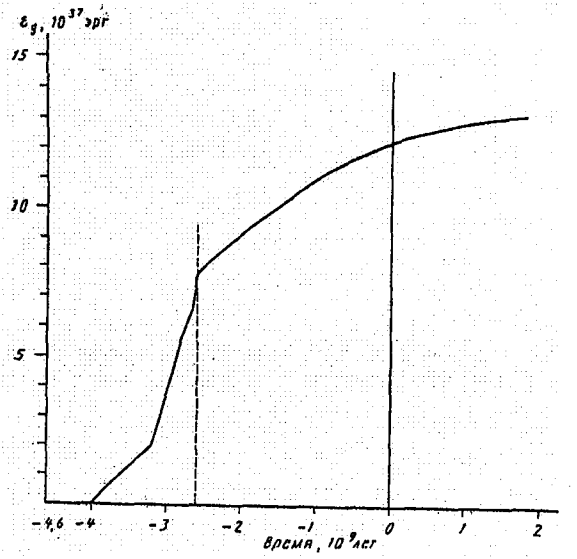


Рис. 1.5. Зависимость от времени выделившейся энергии гравитационной дифференциации Земли E_g (тепловая составляющая) (по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

После некоторого снижения скорости выделения гравитационной энергии в среднем архее уже в позднем архее вновь наблюдался существенный всплеск выделения гравитационной энергии, достигший пика 3 млрд. лет назад – 33·10^{20} эрг/с. С максимальной же скоростью эта энергия выделялась около 2,6 млрд. лет назад во время формирования у Земли плотного ядра. В то время $E_{gT} \approx$ 46,5·10^{20} эрг/с, т.е.

превышала современную скорость выделения гравитационной энергии более чем в 15 раз. В это время тектоническая активность Земли была наибольшей за всю историю Земли.

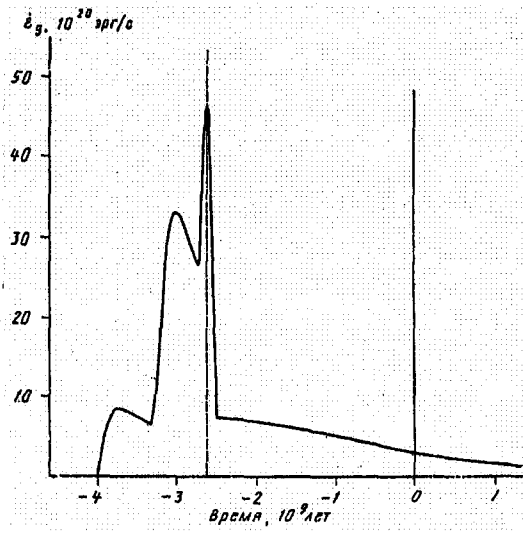


Рис. 1.6. Скорость выделения тепловой составляющей гравитационной энергии E_g (пунктирной линией отмечен момент образования у Земли плотного ядра). (по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

После выделения земного ядра в самом конце архея скорость генерации гравитационной энергии в раннем протерозое резко упала до $9 \cdot 10^{20}$ эрг/с. Дальнейший процесс гравитационной дифференциации Земли протекал уже значительно спокойнее, постепенно снижаясь до современного уровня выделения энергии $E_{gT} \approx 3 \cdot 10^{20}$ эрг/с. В будущем это затухание процесса выделения энергии продолжится.

Таким образом, на первом этапе развития Земли в катархее определяющую роль в ее энергетике сыграли два основных источника: приливное взаимодействие Земли и Луны и распад радиоактивных элементов в Земле. Начиная с момента начала дифференциации вещества в теле Земли, т.е. начиная с 4,0 млрд. лет назад, определяющую роль в энергетике нашей планеты стали играть именно эти процессы, т.е. тепловая составляющая энергии гравитационной дифференциации Земли.

1.6. Общие представления о бародиффузионной модели конвекции мантии

Расслоение первоначально однородной и холодной Земли на плотное ядро и остаточную силикатную оболочку – ее мантию – показывает, что, начиная с 4 млрд. лет назад, начал действовать эффективный механизм химико-плотностной дифференциации земного вещества. Изучение энергетического баланса Земли показало, что и сегодня этот процесс не только продолжает действовать, но и является наиболее мощным из всех других эндогенных энергетических процессов.

Благодаря действию механизма гравитационной дифференциации земного вещества в мантии Земли возникает и развивается интенсивная конвекция, приводящая к перемешиванию ее вещества и дрейфу литосферных плит по поверхности Земли.

Одной из сложностей при разработке теории выделения земного ядра было то, что температура плавления силикатов значительно превышает температуру мантии. При тех давлениях, которые существуют на ее подошве, необходима температура, превышающая 5000 °С. Температуры же в действительности на этих глубинах близки к 2800 °С. Это затруднение заставило сделать предположение, что выделение окислов железа из силикатов мантии происходит благодаря распаду твердых растворов под влиянием высоких давлений и диффузии окислов железа в межгранулярные пространства мантийного вещества. Окислы железа, диффундировавшие из кристаллов и зерен силикатов при высоких давлениях, господствующих в нижней мантии, уже не могут вернуться обратно и должны постепенно накапливаться в межгранулярных пространствах:

$$Fe_2SiO_4 \rightarrow 2FeO + SiO_2 \rightarrow Fe_2O + SiO_2 + O.$$

При подъеме $3FeO + O \rightarrow Fe_3O_4$.

В докембрии, когда еще сохранялось железо в мантии, кислород расходовался на окисление железа:

$$Fe + O \rightarrow Fe\,O.$$

Выделение окислов железа в ядро Земли происходит благодаря их диффузии из кристаллов и зерен мантийного вещества при их

приближении к ядру. Отдельные выделения расплавленных окислов железа сливаются между собой в единую систему связанных друг с другом жидких пленок, обволакивающих некоторые кристаллы и зерна мантийного вещества, образуя что-то, напоминающее магматическую кашу.

Под нисходящими конвективными потоками, под более тяжелыми участками мантии обязательно должны возникать мантийные выступы или корни нисходящих потоков, а под восходящими потоками, наоборот, должен наблюдаться подъем поверхности ядра (рис. 1.7).

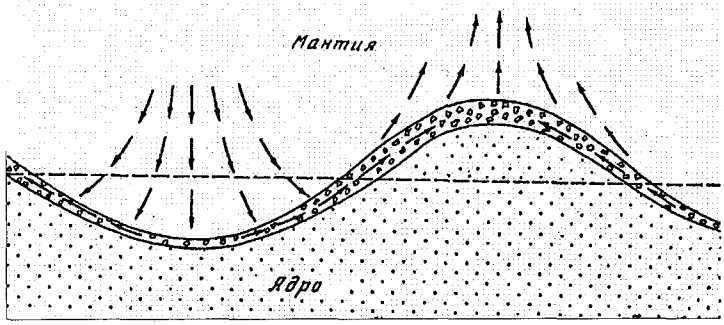


Рис. 1.7. Схема конвективных течений вблизи границы ядро – мантия и формировние восходящих потоков в мантии (по О.Г. Сорахтину, С.А. Ушакову, 1991).

В настоящее время с помощью сейсмической томографии ядра получены доказательства реальности этого вывода: такие неровности на границе мантия – ядро действительно существуют и перепады рельефа в них достигают до ±10 км.

Большие перепады плотности на границе между ядерным и мантийным веществом ($\delta\rho \approx 4 г/см^3$) могут привести к появлению в корнях нисходящих потоков значительных растягивающих напряжений. Они не возникают только потому, что происходит выравнивание рельефа за счет перетекания мантийного вещества под подошву восходящих потоков, что компенсируется новыми нисходящими порциями вещества.

Под влиянием давления из межгранулярных пространств дезынтегрированного мантийного вещества в ядро постепенно отжимается большая часть окислов железа. При этом силикатные кри-

сталлы и зерна за счет развивающихся в них пластических деформаций и процессов межгранулярной диффузии вновь постепенно спаиваются между собой в "сплошное" вещество. Но железа в нем оказывается меньше и потому плотность в восходящих потоках заметно меньше, чем в нисходящих. Возникающая за счет этого в гравитационном поле Земли подъемная (архимедова) сила в конечном итоге и приводит в движение конвективный массообмен в мантии.

Диффузия окислов железа в кристаллах, попавших в восходящие потоки, должна теперь развиваться в обратном направлении. Из межгранулярных пространств в силикаты постепенно диффундируют все остатки окислов железа.

Вязкость ядерного вещества на внешней границе ядра сравнительно низкая. При низкой вязкости и больших перепадах плотности между ядерным веществом и взвешенными в нем кристаллами и зернами силикатов, текущими по поверхности ядра, потоки распавшегося на гранулы мантийного вещества должны быть достаточно стремительными и относительно тонкими. Вероятнее всего, эти потоки разбиваются на отдельные струи, текущие по подошве мантии (по поверхности ядра) подобно рекам. Скорость таких струйных потоков может достигать многих сантиметров и даже метров в секунду.

При столь высоких скоростях течений на эти потоки, очевидно, действует кориолисово ускорение, отклоняющие их к экваториальным зонам , а движение захваченного ими проводящего вещества приводит к появлению мощнейших электрических потоков и магнитных полей. Вероятно, что геомагнитное поле обязано своим происхождением именно таким струйным течениям на поверхности ядра, замыкающим конвективный массообмен в мантии. Во всяком случае, такой связью геомагнитного поля с конвективными движениями в мантии можно объяснить существующую зависимость частоты перемагничивания поля с тектонической периодизацией истории Земли. Кроме того, только этот механизм позволяет совместить дифференциационно-конвективную модель развития Земли с самим фактом существования магнитного поля. В этой модели разогрев ядра происходит только с его поверхности. Следовательно, в ядре существует устойчивая стратификация, препятствующая возникновению в нем конвективных течений, с которыми ранее обычно свя-

зывали происхождение магнитного поля Земли в наиболее популярных гипотезах геомагнитного динамо.

Подчеркнем еще раз, что основная энергия при барродиффузионной сепарации ядерного вещества от силикатного сопровождения выделяется на подошве мантии. Поэтому в мантии наблюдается неустойчивая температурная стратификация, а в ядре – устойчивая.

1.7. Формирование литосферы и тектоническая активность Земли

После образования астеносферы начался процесс выделения земного ядра. В это время произошло новое резкое усиление приливного взаимодействия Луны с Землей. Сейчас можно достаточно уверенно утверждать, что это произошло около 4 млрд. лет назад.

После начала процесса выделения земного ядра Земля прогрелась настолько, что в ее недрах появились первые расплавы. Процесс сепарации плотного ядерного вещества от силикатов должен был начаться сразу же, после того как температура Земли за счет приливного взаимодействия с Луной и распада радиоактивных элементов поднялась до уровня начала плавления железа и его окислов в области локального максимума температуры. Как только содержавшееся в веществе молодой Земли свободное железо стало плавится, процесс дифференциации земного вещества смог уже распространятся и в верх, и в глубь Земли самопроизвольно, только за счет высвобождения гравитационной энергии дифференциации земного вещества. Процесс этот устойчив и может поддерживать себя в незатухающем режиме действия.

Возникшие конвективные течения сломали первозданную литосферную оболочку. После этого разломанная первоначальная литосфера должна была быстро и полностью погрузиться в мантию. Она, будучи богатой железом, была достаточно тяжелой (до 4 г/см^3) по сравнению с верхней мантией, которая благодаря начавшейся дифференциации вещества уже была менее плотной (3,5–3,6 г/см^3). В это же время (около 3,8 млрд. лет назад) появились и первые изверженные породы (плотностью около 2,9–3,0 г/см^3), которые начали формировать на поверхности Земли древнейшие участки земной коры. Таким образом, вся первичная литосфера Земли за время около 100 млн. лет полностью погрузилась в расплавленную верхнюю ман-

тию и переплавилась. Из геологической истории планеты были полностью стерты все следы катархейского периода ее развития. Фрагменты первичной и древнейшей земной коры в основном характеризуются возрастом, не превышающими (3,75–3,8) млрд. лет.

В итоге, процесс выделения земного ядра начался около 4,0 млрд. лет назад, а тектоно-магматическая активность Земли проявилась на ее поверхности уже через 200 млн. лет в виде появления древнейших изверженных пород, первой воды, начала формирования атмосферы и наиболее примитивных форм жизни.

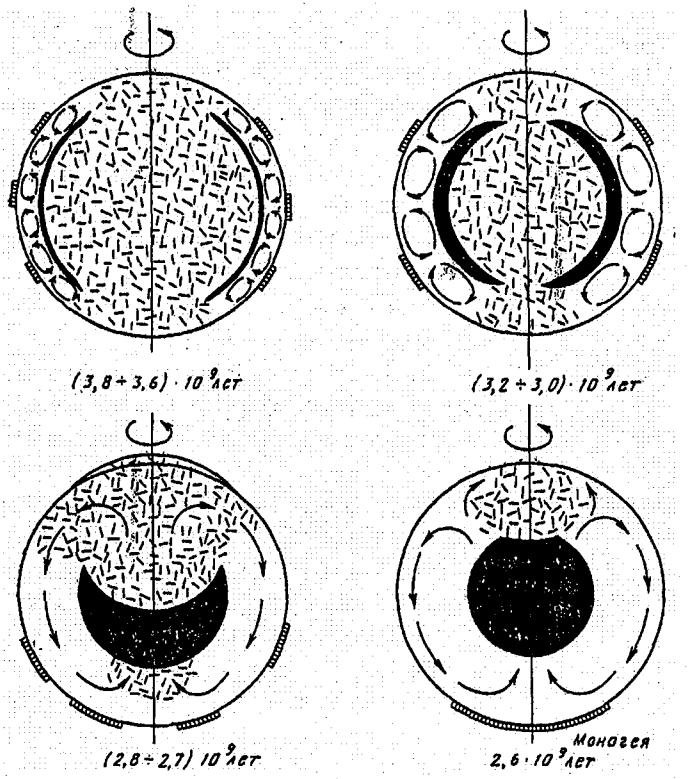


Рис. 1.8. Последовательные этапы развития процесса зонной дифференциации земного вещества и формирования плотного ядра Земли. Черным показаны расплавы железа и его окислов, черточками – первичное земное вещество; радиальной штриховкой – континентальные массивы
(по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

Описывая специфику тектонических процессов в архее, важно подчеркнуть, что "накачка" приливной энергии в астеносферу тогда происходила в основном в экваториальном поясе Земли. Поэтому и первые зачатки континентальных массивов могли возникнуть лишь в приэкваториальных областях. Однако после начала действия гравитационной энергии дифференциации земного вещества пояс тектонической активности Земли постепенно расширялся. К концу архея, около 2,6 млрд. лет назад, тектоническими движениями оказалась охвачена уже вся Земля в целом (рис. 1.8).

Но первые, наидревнейшие зародыши будущих континентов могли образоваться только в низких широтах. По-видимому, их было несколько, и образование их происходило, начиная с раннего архея. В конце позднего архея, около 2,8–2,6 млрд. лет назад, когда в недрах Земли стал развиваться катастрофический процесс образования земного ядра, в мантии Земли установилась одноячеистая конвективная структура с исключительно интенсивными течениями мантийного вещества, направленными от одного полюса планеты к другому. В результате в конце позднего архея все обособленные до этого континентальные массивы стали стремительно перемещаться к одному из полюсов Земли, сталкиваться друг с другом, существенно деформироваться и объединяться в единый континентальный массив. По-видимому, именно таким путем и возник первый в истории нашей планеты суперконтинент Моногея в районе Южного полюса Земли.

По оценкам около 70 % континентальной коры было сформировано уже 2,6 млрд. лет назад, т.е. в архее. При этом за первые 700 лет, (3,9–3,2) млрд. лет назад, образовалось только около 15 % земной коры, остальная часть образовалась в последующие 600 млн. лет. За оставшиеся 2,6 млрд. лет образовалось около 30 % земной коры, при этом за последние 600млн. лет – немногим более 3 %. В дальнейшем рост коры прекратится, и наступит фаза ее необратимого разрушения.

Тектоническую активность Земли можно хорошо представить на основе анализа потерь идущего из мантии глубинного тепла или эволюции средней скорости движения океанических литосферных плит, которые связаны между собой выражением

$$V_l \sim Q_m^2 / S_{\text{окк}} ,$$

где Q_m – глубинный тепловой поток, $S_{окк}$ – площадь океанической коры.

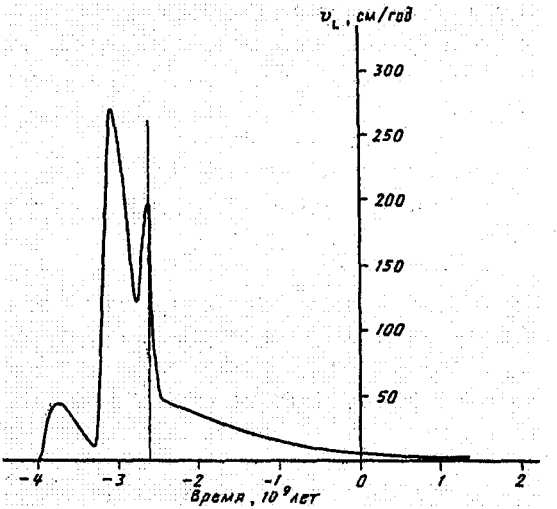


Рис.1.9. Эволюция средней скорости движения океанических литосферных плит. (по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

На рис. 1.9 изображен график $\overline{V}_l(t)$, рассчитанный О.Г. Сорохтиным. Как видно из этого графика, в позднем архее наблюдался резкий всплеск тектонической активности, и скорость движения тектонических плит достигала 250 – 270 см/год, т.е. в 50 – 55 раз превышала их современную скорость движения. В раннем архее скорость перемещения плит была заметно ниже. Особенно заметно снижалась тектоническая активность в среднем архее, что связано с расходом тепла на разогрев первозданного вещества на глубинах свыше 800 – 1000 км.

Начиная с раннего протерозоя, скорость движения плит последовательно снижалась с 40 см/год до ее современного значения – около 5 см/год. Не так давно получены количественные оценки, подтверждающие концепцию глобальной тектоники, горизонтальных движений литосферных плит на основе спутниковых технологий. С помощью лазерной локации скорости горизонтальных движений определяются с точностью до ± 1 мм/год. Снижение средней скорости движения плит будет происходить и далее, вплоть до того

момента, когда благодаря увеличению мощности океанических плит и их трению друг о друга оно не прекратится вообще. Произойдет это, по-видимому, через 1,0–1,5 млрд. лет.

Со скоростью движения плит связана и средняя продолжительность их жизни. Так, в современную эпоху средняя продолжительность жизни океанических плит составляет около 120 млн. лет, а в позднем архее она снижалась до 4 млн. лет.

В целом тектоническое развитие Земли, начиная с протерозоя, проходило по законам тектоники литосферных плит и принципиально не отличалось от тектонического режима современности. Тектоническое развитие Земли в архее более сложное и определялось малой продолжительностью жизни литосферных плит (меньше 16 млн. лет), их малой мощностью (менее 30 км), существенной перегретостью (на 400 – 500 ^{o}C) верхней мантии по сравнению с ее современным состоянием. Плотность литосферных плит в течение всего позднего архея была меньше плотности верхней мантии, и поэтому они в тот период не могли погружаться в мантию. В результате вместо привычных сейчас зон субдукции в области сжатия литосферной оболочки (т.е. над нисходящими конвективными течениями мантийного вещества) возникали зоны торошения тонких океанических литосферных пластин. Поэтому иногда процессы в архее в отличие от более позднего периода определяют как тектоника тонких литосферных пластин. И именно эти процессы привели в конечном итоге к образованию архейской континентальной коры.

После завершения в конце архея бурного процесса выделения в недрах Земли окисно-железного ядра, в котором тогда оказалось сосредоточенным до 65 % массы современного ядра, дальнейший тектонический режим развития планеты стал более спокойным. Резко увеличилось время жизни и мощности литосферных плит. Плотность плит в результате стала выше плотности мантии, и, как следствие, на смену зонам торошения и скучивания тонких литосферных пластин появились нормальные зоны поддвига плит современного типа. Кроме того, около 2,5 млрд. лет назад существенно изменились состав и строение океанической коры, и вместо чисто базальтовой коры архея уже в самом начале протерозоя сформировался ее серпентинитовый слой – основной резервуар содержащейся в океанической коре связанной воды. Начиная с протерозоя, существенно изменился и сам процесс формирования континентальной коры.

Определяющей чертой тектонического развития Земли в протерозое, фанерозое и будущем является постепенное затухание ее эндогенной активности, хотя на этом фоне в отдельные периоды происходили как всплески активности, так и локальные ослабления. Всплески тектонической активности обычно вызывались установлением в мантии одноячеистых конвективных структур. Именно в такие периоды формировались и все суперконтиненты прошлого: докембрийские Моногея (2,6 млрд. лет назад), Мегагея (1,8 млрд. лет назад), Лавразия с Гондваной (около 1 млрд. лет назад) и Палеозойская Пангея (450–350 млн. лет назад). Не исключено, что примерно еще через 300 млн. лет на Земле возникнет один или два суперконтинента типа Лавразии и Гондваны, поскольку можно ожидать возникновения на Земле в это время одно- или двухъячеистой конвективной структуры. Наконец, в будущем, приблизительно еще через 1,0–1,5 млрд. лет, ожидается, если хватит энергии, возникновение последнего в геологической истории Земли гипотетического суперконтинента Гипергея. Однако все, без исключения, возникавшие в прошлом суперконтиненты всегда оказывались неустойчивыми образованиями. Уже через 100 – 150 млн. лет после своего образования под центральными областями суперконтинентов начинали действовать мощнейшие восходящие конвективные потоки, раскалывавшие гигантские континентальные плиты на части, которые дрейфовали затем в центробежных направлениях от этих восходящих потоков.

Последний, завершающий этап в геологической истории Земли будет связан с ее предстоящей тектонической смертью приблизительно через 1,0–1,5 млрд. лет, после почти полного исчерпания источников энергии в земных недрах. Доля “ядерного” вещества, уже перешедшего в ядро, сейчас равняется 86,3 %. Таким образом, процесс гравитационной дифференциации вещества в теле Земли осуществился на 86,3 %. После его полного перехода в ядро прекратятся взаимные перемещения литосферных плит, ослабнет сейсмическая активность (в охлаждающейся и сжимающейся литосферной оболочке будут происходить лишь слабые термические землетрясения); усилится проявление разрушающих земную кору экзогенных факторов выветривания пород и выравнивания рельефа.

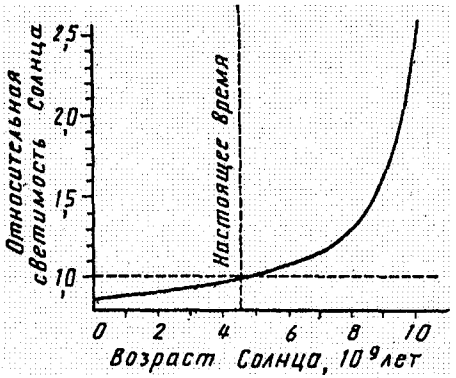


Рис. 1.10.Зависимость светимости Солнца от времени. (по Л. Аллеру, 1976).

Однако самые большие "неприятности" в будущем ожидают Землю со стороны Солнца. Звезды, подобные Солнцу, по мере исчерпания своего ядерного горючего (водорода, гелия, углерода и некоторых других элементов), постепенно расширяются за счет перемещения зоны "ядерного горения" из центральных областей звезды ближе к поверхности, а это приводит не только к увеличению ее радиуса, но и к повышению поверхностной температуры и, как следствие, – светимости. За 4,6·млрд. лет своего существования светимость Солнца уже увеличилась приблизительно на 25–30 %. В дальнейшем светимость Солнца будет возрастать еще быстрее (рис. 1.10), что неизбежно приведет вначале к сильному парниковому эффекту на Земле, а затем и к вскипанию океанов и их полному испарению. Звезды солнечной массы оканчивают свой эволюционный путь приблизительно через 9–10 млрд. лет гигантским взрывом, превращаясь при этом в белый карлик. Сброшенная же звездами оболочка, гигантским шквалом проносясь мимо нашей планеты, полностью сдует с нее атмосферу и гидросферу и частично испарит верхние слои земной коры. Однако произойдут эти события еще очень не скоро.

Глава 2. ОБРАЗОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОСФЕРЫ И АТМОСФЕРЫ

Молодая Земля в катархее была лишена как гидросферы, так и заметной атмосферы. Эти две внешние подвижные геосферы возникли на Земле только благодаря дегазации мантии Земли. Дегазация мантии началась лишь после образования астеносферы и возникновения процессов дифференциации земного вещества. Лишь тогда появились первые признаки эндогенной тектонической активности на земной поверхности, и произошло это 4,0–3,8 млрд. лет назад.

Дегазация мантии Земли существенно зависела не только от тектонической активности нашей планеты, определяемой интенсивностью конвективных движений в мантии, но также и от ее химического состава. Поэтому рассмотрим вначале основные черты эволюции химического состава мантии, изложенные О. Г. Сорохтиным и С.А. Ушаковым.

2.1. Химическая эволюция конвектирующей мантии

Очень важным для эволюции Земли является эволюция содержания железа в мантии Земли.

Удаление железа, его соединений и других тяжелых элементов (Fe, FeO, FeS, Ni) из исходного земного вещества в зоны сепарации тяжелых фракций, как и дальнейший переход этих элементов из самой мантии в образовавшееся земное ядро, а легкоподвижных элементов (H_2O, K_2O, Na_2O, CO_2 ,N_2) в земную кору, атмосферу и гидросферу, сопровождались соответствующими изменениями химического состава конвектирующей мантии. Упрощенная кривая эволюции относительных концентраций некоторых из породообразующих окислов по О.Г. Сорохтину приведена на рис. 2.1.

Из рисунка следует, что количество железа в мантии Земли в течении архея и протерозоя сокращалось, поскольку железо, как и его окись, тратились на образование «ядерного» вещества по формуле:

$$FeO + Fe \rightarrow Fe_2O.$$

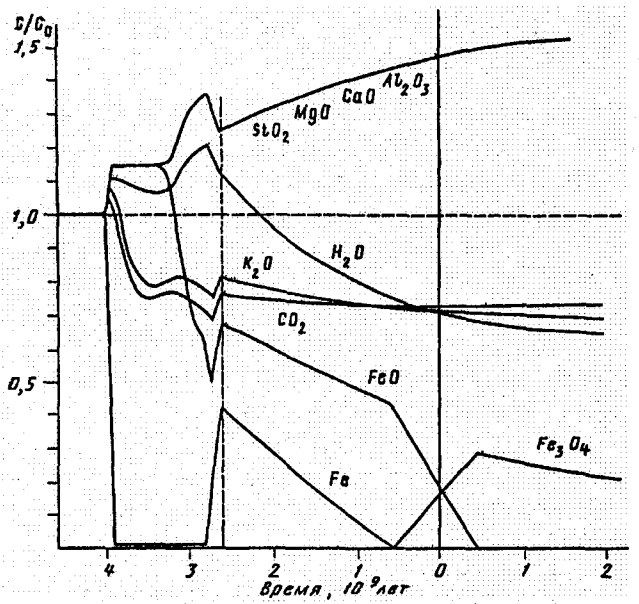


Рис. 2.1. Эволюция химического состава мантии Земли
в относительных концентрациях (по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

Расчеты показали, что около 500 млн. лет назад концентрация свободного железа в мантии упала до нуля. Несмотря на приблизительность расчетов, их результаты удивительно близко совпадают с возрастом главного рубежа в развитии высокоорганизованной жизни на Земле – рубежа между протерозоем и фанерозоем. И совпадение это отнюдь не случайное – оно определяет исчезновение из мантии, а следовательно, и из рифтовых зон Земли, металлического железа – главного химического реагента, активно поглощавшего кислород из гидросферы (и атмосферы) в течение всей докембрийской истории развития Земли. Лишь после почти полного исчезновения металлического железа из конвектирующей мантии в земной атмосфере стал накапливаться вырабатываемый растениями кислород в количествах, достаточных для появления и нормального функционирования животных форм жизни на Земле.

После исчезновения металлического железа образование ядерного вещества в нижней мантии уже происходило по другой реакции:

$$2FeO \rightarrow Fe_2O + O.$$

Выделяющийся кислород вновь связывл окислы железа, формируя магнетитовую компоненту мантии:

$$3FeO + O \rightarrow Fe_3O_4.$$

Суммарную реакцию можно записать в виде

$$5\ FeO \rightarrow Fe_2O + Fe_3O_4.$$

Исходя из соотношения весовых частей этой реакции, О.Г. Сорохтин и С.А. Ушаков определили, что приблизительно через 600 млн. лет все еще сохранившееся в мантии железо окажется окисленным до устойчивой в условиях мантии магнетитовой фазы Fe_3O_4. Далее, на третьем этапе действия бародиффузионного механизма дифференциации Земли, образование ядерного вещества должно пойти по реакции распада магнетита.

$$2Fe_3O_4 \rightarrow 3Fe_2O + 5O.$$

Освобождающийся при этом кислород уже не будет более задерживаться в конвектирующей мантии, а сможет беспрепятственно поступать в гидросферу и атмосферу. Начиная с этого момента парциальное давление кислорода в атмосфере станет существенно (на 1 бар за 1 млн. лет) возрастать, что, безусловно, губительно скажется на всей наземной жизни, и только ограниченная растворимость кислорода в воде позволит ей сохраниться на какое-то время в океане.

Наряду с очень важными для Земли изменениями концентрации железа в ее мантии изменялось содержание и других составляющих. Закономерно повышалось содержание наиболее распространенных и малоподвижных окислов: SiO_2, MgO, Al_2O_3, CaO. В настоящее время их концентрация в мантии примерно в 1,5 раза выше, чем в первичном земном веществе. Концентрация такого подвижного соединения, как Na_2O, также несколько повысилась. Соединения H_2O, K_2O и CO_2 выносились из мантии в большей степени, поэтому их содержание уменьшилось приблизительно в 2 раза. В еще большей мере сократились в мантии концентрации радиоактивных элементов U и Th. Происходило это по двум причинам: за счет распада и благодаря их преимущественному переходу в континентальную кору.

2.2. Формирование гидросферы Земли

2.2.1. Накопление воды в гидросфере Земли

По современным оценкам в Мировом океане сосредоточено $1{,}37 \cdot 10^{24}$ г воды. Кроме того, большое количество воды находится в континентальной коре, в водоемах и ледниках на поверхности континентов – $0{,}44 \cdot 10^{24}$ г. Наконец, в океанической коре также содержится приблизительно $0{,}36 \cdot 10^{24}$ г воды. Всего же во внешних геосферах Земли содержится $2{,}17 \cdot 10^{24}$ г воды, или $2{,}17 \cdot 10^{9}$ км^3. Таким образом, за 4 млрд. лет из земных недр выделилось большое количество воды, составляющее немногим больше 50 % всей воды на Земле. По современным оценкам $2{,}04 \cdot 10^{24}$ г воды все еще находится в мантии Земли. Отсюда можно предполагать, что воды на Земле $4{,}21 \cdot 10^{24}$ г (скорее всего это верхний предел).

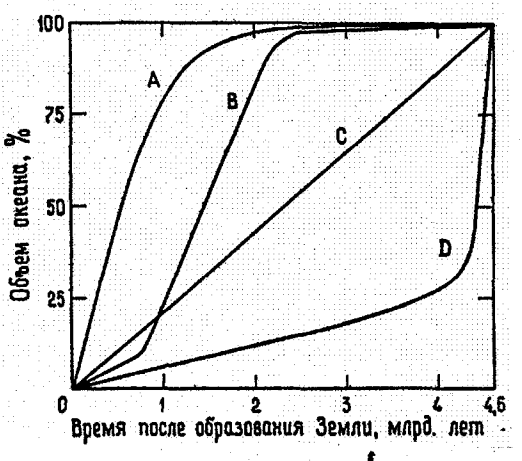


Рис. 2.2. Время, предполагаемое для аккумуляции воды на земной поверхности по разным моделям (по Т. Шопфу , 1982).

Начиная с 50-х годов (после появления в 1951г известной работы В. Руби о геологической истории морской воды) стало общепризнанным представление о том, что происхождение океанов и дальнейшее накопление в них воды определялось дегазацией Земли и, таким образом, полностью зависело от эндогенных режимов ее развития. В первых моделях скорость дегазации мантии принималась

произвольной или обосновывалась только общими соображениями. Отсюда и скорость, с которой аккумулировалась вода в океане, до недавнего времени была предметом дискуссии. Были предположения, что современный океан образовался очень быстро – в течение 1 – максимум 2 млрд. лет (рис. 2.2, кривые А и В). Существовало представление о постепенном, равномерном накапливании воды в океане (рис. 2.2, кривая С) и, наконец, что основная вода поступила в океан в последние 200 – 300 млн. лет назад (рис. 2.2, кривая D).

Только создание общей теории эволюции Земли (О.Г. Сорохтин, С.А. Ушаков, 1991) позволило расчетным методом получить кривую накопления воды в гидросфере и океане Земли. На чем основывались расчеты? Были подсчитаны объемы воды в гидросфере и мантии Земли в настоящее время. Но главное удалось надежно определить количество воды во внешних оболочках и в океане Земли 2,2 млрд. лет назад. Срок этот был определен на основе того момента, когда увеличивающийся в своем объеме океан перекрыл срединно-океанические хребты с расположенными на них рифтовыми зонами. Этот момент очень четко оказался зафиксированным в геологической истории Земли. До этого момента не могла существовать циркуляция воды в океане, а следовательно, и широкий вынос минеральных веществ из рифтовых зон Земли в океан. Поэтому только после полного насыщения океанической коры водой и некоторого подъема поверхности океана над уровнем гребней срединно-океанических хребтов в океаны стали в изобилии выносится минеральные компоненты океанической коры. Должна была измениться геохимия океанических осадков. В их составе должны были появиться осадки, в изобилии выносимые из мантии. Наиболее характерным элементом и ярким индикатором искомого рубежа, безусловно, является железо. Поднимаясь вместе с горячим мантийным веществом в рифтовые зоны, оно вступало там в реакцию с морской водой, образуя хорошо растворимую двухвалентную гидроокись железа

$$Fe + 2H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 + H_2 .$$

Гидроокись железа стала разносится по всему океану. На мелководьях с богатым фитопланктоном она окислялась микроводорослями:

$$CO_2 + H_2O + 4Fe(OH)_2 \rightarrow [CH_2O] + 2Fe_2O_3 + 4H_2O$$

или могла окисляться абиогенным путем под действием жесткого ультрафиолетового излучения:

$$H_2O + 2Fe(OH)_2 + h\nu \rightarrow Fe_2O_3 + 2H_2O + H_2.$$

Трехвалентное железо, нерастворимое в воде, тут же осаждалось на дно, формируя крупнейшие железорудные месторождения мира.

Геологическая история Земли выделяет две очень четкие эпохи железорудонакопления: первая относится к периоду 2,7 – 2,5 млрд. лет назад. Вторая, наиболее крупная эпоха, с которой связано более 90% всех мировых запасов железа, проявившаяся почти на всех континентах, началась 2,2 млрд. лет назад. Дальнейший анализ показал, что перекрытие срединно-океанических хребтов происходило дважды: первое в позднем архее, приблизительно 2,7 – 2,5 млрд. лет назад, а второе и окончательное после 2,2 млрд. лет назад. Причинами этого были изменения тектонической активности Земли.

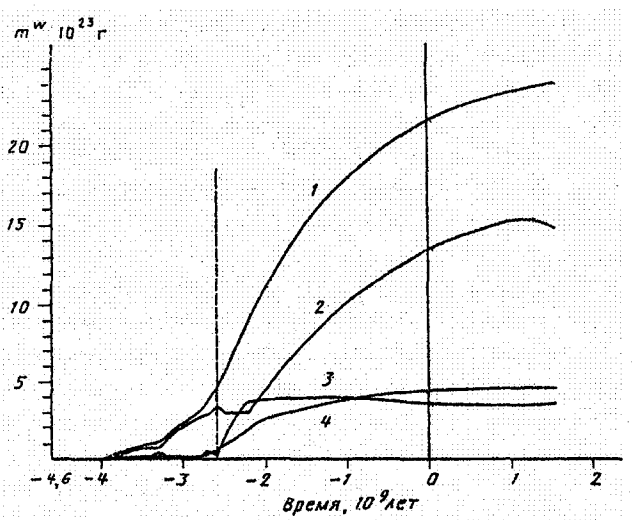


Рис. 2.3. Накопление воды в гидросфере Земли.
1 – суммарная масса дегазированной из мантии воды m^{ω}; 2 – масса воды в океане $m^{\omega}_{ок}$; 3 – масса воды, связанной в океанической коре $m^{\omega}_{окк}$; 4 – масса воды, связанной в континентальной коре $m^{\omega}_{кк}$. (по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

Суммарная масса воды в период после 2,2 млрд. лет назад приблизительно равнялась $0{,}893 \cdot 10^{24}$ г, масса воды в океане – $0{,}349 \cdot 10^{24}$ г, масса воды в континентальной коре – $0{,}17 \cdot 10^{24}$ г и в океанической коре – $0{,}378 \cdot 10^{24}$ г. Таким образом, в этот последний период в океанах было чуть больше 25 % современной воды, на континентах – около 39 %, а в океанической коре содержалось примерно на 5 % воды больше, чем ее содержится в настоящее время. Общая (рассчитанная) схема накопления воды в гидросфере Земли представлена на рис. 2.3, а скорости дегазации воды из мантии на – рис. 2.4. Как видно из рисунков, скорость дегазации воды из мантии в архее была относительно умеренной, несмотря на высокую тектоническую активность Земли в ту эпоху. С максимальной скоростью дегазация воды из мантии происходила уже после выделения у Земли плотного ядра и перехода ее тектонического развития к тектонике литосферных плит, т.е. в самом начале протерозоя (около 2,5 млрд. лет назад), и достигала тогда $m^{\omega} \approx 1{,}5 \cdot 10^{15}$ г/год, или 1,5 км^3/год. С тех пор скорость дегазации воды закономерно снижалась до современного уровня m_o^w=0,23 км^3/год.

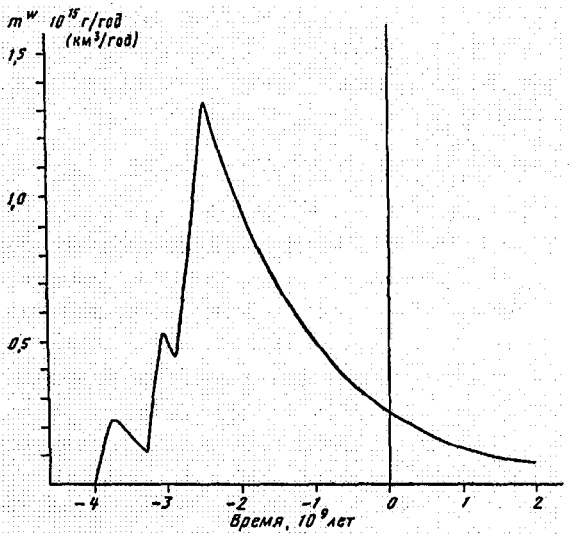


Рис. 2.4. Скорости дегазации воды из мантии m^{ω}
(по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову , 1991).

То, что основная масса воды выделилась из мантии уже после выделения у Земли плотного ядра, объясняется тем, что до сформирования земного ядра дегазация воды происходила не из всего силикатного вещества Земли, содержащего ювенильную воду, а только из его части, охваченной конвективными движениями. Масса же конвектирующей мантии в архее, особенно раннем, составляла лишь незначительную часть всего земного вещества, содержащего в себе тогда ювенильную воду. В протерозое и фанерозое, после образования ядра, все силикатное вещество и вся ювенильная вода оказались сосредоточенными в конвектирующей мантии, и поэтому дегазация Земли после архея стала более эффективной.

Снижение скорости поступления ювенильной воды в Мировой океан продолжится и в будущем. Отсюда следует, что основная масса воды ($1{,}71 \cdot 10^{24}$ г) перешла из мантии в земную гидросферу только в протерозое и фанерозое, когда тектонический режим стал значительно более спокойным. В бурное же время архея выделилось приблизительно только $0{,}46 \cdot 10^{24}$ г воды, что в 3,8 раза меньше.

В будущем, при общем и еще большем снижении тектонической активности Земли, мощность осадков, отлагаемых на дне океанов, будет возрастать. Осадки не меньше, чем серпентиниты, связывают воду. Поэтому в будущем содержание связанной воды в океанической коре вновь начнет возрастать, а масса воды в океане, наоборот, уменьшится.

2.2.2. Изменение уровня Мирового океана

Наряду с определением поступления воды во внешние оболочки Земли удалось определить и изменение средней глубины океанических впадин, отсчитываемой от гребней срединно-океанических хребтов. Это позволило представить эволюционные изменения уровня Мирового океана (рис. 2.5). Как видно из рис. 2.5, в раннем архее средние глубины океана, в пересчете на равномерное покрытие всех океанических пространств Земли, были очень малы и изменялись от 50 до 200 м. Однако в реальных условиях раннего архея еще не существовало единого океана, а глубины отдельных и часто изолированных бассейнов были, естественно, большими и могли достигать 500 м.

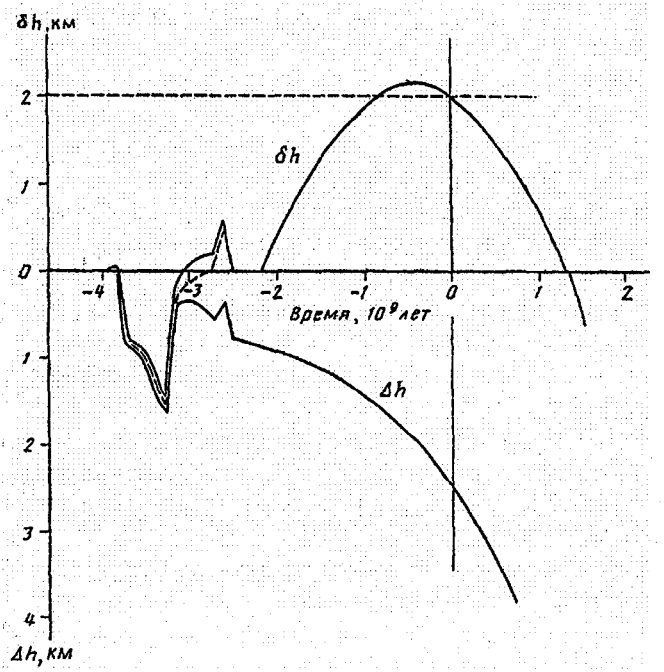


Рис. 2.5. Эволюционные изменения уровня Мирового океана δh и глубины океанических впадин Δh. Нулевой уровень – положение гребней срединно-океанических хребтов (по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову , 1991).

В позднем архее средние глубины океана возросли до 350 – 700 м, и тогда, по-видимому, на Земле впервые возникло единое зеркало водной поверхности Мирового океана. В раннем протерозое в связи с активной гидратацией пород серпентинитового слоя океанической коры наблюдалась временная остановка роста океанических глубин (на уровне 780– 870 м). Начиная с $2{,}2 \cdot 10^9$ лет назад, средние глубины океана вновь стали быстро увеличиваться, и за первый миллиард лет после этого они возросли до 2900 м. Увеличение средних глубин Мирового океана продолжалось, и в настоящее время они достигают средней величины 4,5 км. Будет оно продолжаться и в дальнейшем (до 5 км), однако приблизительно через $1 \cdot 10^9$ лет рост средней глубины океана остановится в связи с возрастанием в то время поглощения вод толщей океанических осадков.

Можно также рассмотреть колебания уровня океана относительно более стабильного реперного уровня – гребней срединно-океанических хребтов, средний уровень которых определяет собой средний радиус Земли. Из рис. 2.5 видно, что в раннем архее (около 3,8 млрд. лет назад), еще до взлома первичной литосферной оболочки, но уже после начала дегазации Земли, можно предполагать существование широких и очень мелких ($\delta H \approx 20$ м) бассейнов, покрывавших тогда большую часть первозданной поверхности Земли.

Но как только первичная литосфера была сломана возникшими конвективными движениями в верхней мантии, и на смену ей возникли базальтовые плиты со срединными хребтами и впадинами между ними, сразу же водная оболочка Земли должна была разбиться на ряд замкнутых и обособленных друг от друга морских бассейнов. Практически в течение всего раннего архея такие моря располагались лишь в самых глубоких частях океанических впадин, а гребни срединно-океанических хребтов возвышались над ними на 800 – 1000 м.

В связи с резкой и сильной активизацией тектонической деятельности Земли в конце раннего архея, начиная с $3{,}2 \cdot 10^9$ лет назад, глубины океанических впадин начали сильно уменьшаться. В результате около $2{,}8–2{,}9 \cdot 10^9$ лет назад поверхность океана достигла среднего уровня гребней срединно-океанических хребтов, после чего начался этап насыщения водой базальтовой океанической коры того времени и около 150 – 200 млн. лет поверхность океана, вероятно, совпадала со средним уровнем хребтов.

Около $2{,}7 \cdot 10^9$ лет назад океаническая кора уже полностью насытилась водой, и уровень вновь стал подниматься, тем более что в этот период наблюдался новый мощный импульс тектонической активности в связи с образованием ядра. К концу архея ($2{,}6 \cdot 10^9$ лет назад) поверхность океана перекрывала гребни срединно-океанических хребтов слоем воды около 600 м. В этот период на Земле образовался первый в ее истории суперконтинент Моногея, и тогда же должен был возникнуть и единый океан – Моноталасса.

После завершения образования земного ядра тектоническая активность Земли резко снизилась, и вновь углубились океанические впадины. В раннем протерозое на дне океанов сформировался серпентинитовый слой – главный поглотитель воды в океанической коре:

$$4(Mg, Fe)_2SiO_4 + 4H_2O + 2CO_2 \rightarrow$$
$$\rightarrow (Mg, Fe)6Si_4O_{10}(OH)_8 + 2(Mg,Fe)CO_3.$$

В результате уровень океана вновь снизился и в течение почти 300 млн.лет – с $2{,}5 \cdot 10^9$ до $2{,}2 \cdot 10^9$ лет назад – оставался на одном уровне с гребнями срединно-океанических хребтов. Наконец, после полного насыщения серпентинитового слоя, около $2{,}2 \cdot 10^9$ лет назад, уровень океана вновь стал повышаться со скоростью 1 см за 5000 лет и за первый миллиард лет поднялся над гребнями хребтов на 1,6 км. Но одновременно с подъемом уровня увеличивалась и глубина океанических впадин. Это привело к тому, что в фанерозое, около 400 млн. лет назад, наступила временная стабилизация уровня Мирового океана, после чего он начал понижаться. Прогрессивное понижение уровня связано с общим ослаблением тектонической активности Земли и соответствующим увеличением глубины океанических впадин. Продолжится понижение уровня и в будущем. В результате, примерно через $1{,}3 \cdot 10^9$ лет, срединно-океанические хребты могли бы вновь подняться над уровнем океана. Однако по прогнозу к этому времени океаны должны будут вскипеть и полностью испариться.

Мы рассмотрели генеральный ход изменений уровня Мирового океана с момента его возникновения. На этот ход накладываются колебания меньших масштабов, приводящие к глобальным трансгрессиям или регрессиям моря на континентах. Эти колебания уровня океана называют эвстатическими, и они охватывают весь его объем. Рассмотренные нами ранее эвстатические колебания уровня, наиболее медленные, с характерными периодами колебаний около $1{,}0 \cdot 10^9$ лет, определяемые эволюционными изменениями тектонической активности Земли, имеют максимальные амплитуды до 1,5 – 2,0 км.

Другой причиной колебаний уровня является также тектоническая активность Земли, но связанная с периодическими перестройками структуры химико-плотностной конвекции в мантии, или иначе со скоростью спрединга океанического дна. Материал, наращиваемый на срединно-океанических хребтах, является вначале разогретым и относительно плавучим. С течением времени литосферная плита отодвигается в сторону, охлаждается, становится более плот-

ной, сжимается и опускается. Если скорость спрединга, или скорость движения плиты, очень высокая, то океаническое дно на любом расстоянии от оси хребта не имеет достаточно времени для остывания, какое оно имело бы при "средних" условиях, и океаническое дно занимает относительно более высокое положение. Поскольку объем воды в океане меняется значительно медленнее, то поверхность океана поднимается, и море наступает на континенты. И, наоборот, в те отрезки времени, когда скорость спрединга очень низкая, океаническое дно имеет больше времени для охлаждения по сравнению со "средними" условиями, поэтому оно погружается на большую глубину. Воды в такие периоды как бы стекают с континентов в океанические котловины, и наблюдается регрессия моря. Периоды таких колебаний составляют $10^7 - 10^8$ лет и амплитуды $\pm 200 - 400$ м (рис. 2.6).

Еще более быстрые эвстатические колебания уровня океана происходят вследствие перемещения воды из океана на континент и обратно соответственно при образовании и таянии ледников на поверхности материков, расположенных в приполярных областях Земли. Гляциоэвстатические колебания уровня океана, вероятно, не превышают $100 - 200$ м и происходят за периоды $10^3 - 10^5$ лет.

Существуют и некоторые другие причины возможных эвстатических колебаний уровня океана, например, осушение или заполнение крупных бассейнов, подобных Средиземноморскому, когда водные массы перемещаются в океан и из океана. Так, оценки показали, что полное осушение Средиземного моря, имевшее место, по-видимому, в позднем миоцене, могло повлечь подъем уровня океана на 10 м и опускание его на ту же величину при повторном заполнении моря. Но масштабы таких изменений уровня несопоставимы с масштабами, вызываемыми тремя первыми причинами: эволюционными изменениями тектонической активности Земли, колебаниями тектонической активности Земли в связи с периодическими перестройками химико-плотностной конвекции в мантии и при возникновении и таянии покровных ледников на материках.

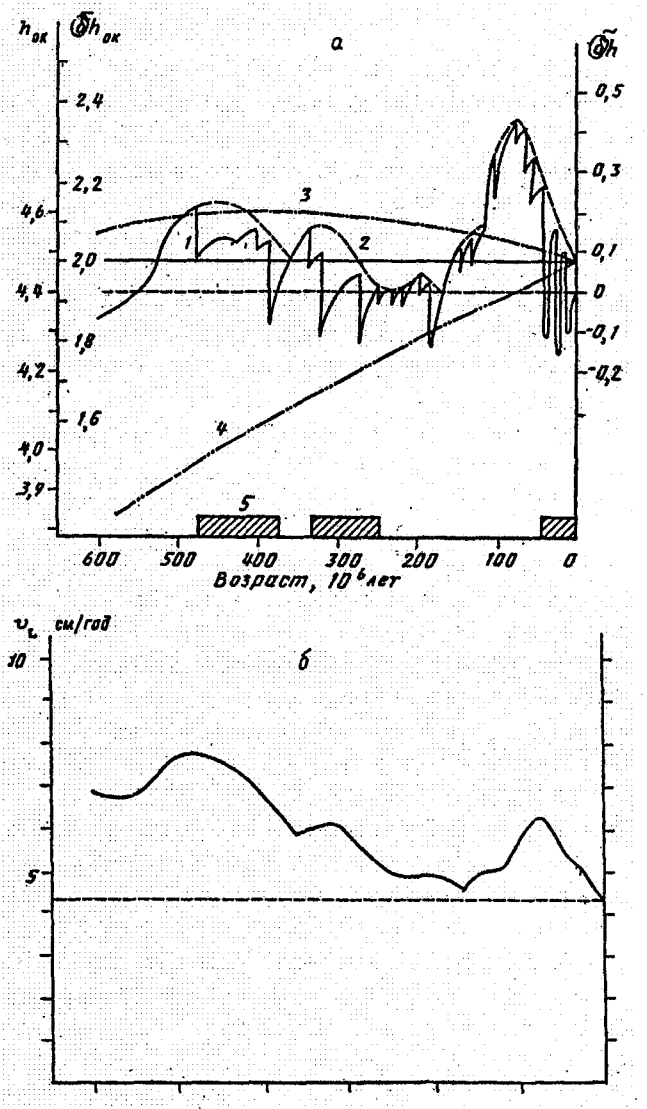


Рис. 2.6. Эвстатические колебания уровня океана в фанерозое (а) в сопоставлении с изменениями средней скорости движения литосферных плит (б) (по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

2.2.3. Эволюция химического состава океана

Известно, что в современном Мировом океане содержание солей составляет в среднем около 35 г в 1 кг воды. Общее количество солей, растворенных в водах современного океана, достигает огромной величины – примерно $52 \cdot 10^{15}$ т. В целом существует баланс между поступлением и расходом солей. Отклонения от него столь незначительны, что не могут повлиять на общий состав морской воды.

В составе морской воды доминируют хлориды натрия, в меньшей степени в ней содержатся сульфаты. Морская вода по составу коренным образом отличается от речных вод, в которых доминируют карбонаты.

Есть два источника поступления примесей в океаническую воду. Первый – это атмосферные газы, способные растворяться, и горные породы, подвергающиеся на поверхности суши и на дне моря разрушающему воздействию солнца, воздуха и воды – эрозии, облегчающей вымывание из горных пород и перенос в океан ряда веществ. И второй – это различные соединения поступающие из мантии Земли при дегазации: углерод (CO_2, CO, CH_4), аммиак (NH_3), сера и ее соединения (S, H_2S, SO_2, CH_4S), галоидные кислоты (HCl, HF, HBr, HI), борная кислота, аргон и некоторые другие газы. При температуре лучистого равновесия в начале почти весь пар превращался в воду вместе с другими составными частями вулканических газов. Поэтому первичный океан был обогащен кислотами, CO_2, аммиаком, серой в чистом виде и в виде сероводорода.

Кислоты реагировали с силикатами горных пород, извлекая из них эквивалентные количества щелочных, щелочноземельных и других элементов, в результате чего pH постепенно возрастал, вода переставала быть кислой, и в ней устанавливалось кислотно-щелочное равновесие (pH = 7), отвечающее нейтральному раствору. Извлеченные из силикатов соли переходили в раствор, так что вода в океане сразу становилась соленой.

По оценкам на 1 кг морской воды приходится 0,6 кг разрушенных горных пород. При их разрушении извлекается и переводится в океан 66 % содержащегося в них натрия, 10 % магния, 4 % стронция, 2,5 % калия, 1,9 % кальция, 0,3 % лития и т.д. Учитывая распространенность этих элементов в породах земной коры, нетрудно

рассчитать концентрации соответствующих катионов в морской воде. Они совпадают с фактическими характеристиками солености морской воды.

В то же время содержание главных анионов в морской воде во много раз выше, чем их количества, которые могут быть извлечены из горных пород. Особенно это относится к хлору и брому, которых в 1 кг современной морской воды в 200 и 50 раз больше, чем в 0,6 кг горных пород. Таким образом, хлор и бром могли попасть в воду только из продуктов дегазации мантии, и, следовательно, мы приходим к одному из основных тезисов известного русского гидрохимика А.П. Виноградова: "Все анионы морской воды возникли из продуктов дегазации мантии, а катионы – из разрушенных горных пород".

Общая соленость первичного океана, определяемая содержанием анионов в продуктах дегазации мантии, была, вероятно, близка к современной, но соотношения катионов могли быть несколько иными, так как горные породы первичной коры были преимущественно ультраосновными и основными и соотношения Na/K и Mg/K были большими, чем в современных горных породах. Можно отметить, что в водах первичного океана отсутствовал анион окисленной серы – сульфат SO_4^{-2}, что служит одним из свидетельств отсутствия в атмосфере того времени кислорода.

Таким образом, воды первичного океана были хлоридными, нейтральными и бессульфатными, с полным отсутствием кислорода. Изменения химического состава океана в дальнейшем касались в основном его газового состава, уменьшения содержания магния, кальция, калия и образования сульфатных ионов. Что касается солености, то она не изменялась более чем в 2 раза за всю историю океана. Более того, анализ концентрации бора в морском иллите позволяет думать, что в течение последних 2 млрд. лет, а тем более в течение всего фанерозоя, соленость океана существенно не менялась. Есть основания полагать, что самые значительные изменения солености за последние 800–900 млн. лет произошли в перми, когда соленость океана могла уменьшится приблизительно на 10 %. На основе анализа ископаемой морской фауны виднейший русский зоолог Л.А. Зенкевич пришел к выводу, что понижение солености морских вод на 10 % и более привело бы к очень сильной экологической катастрофе, в результате чего из состава фауны должны были бы исчез-

нуть многие группы организмов целиком или частично. Анализ видового состава фауны свидетельствует, что к началу фанерозоя она была уже типичной для современного океана и потому в течение фанерозоя соленость не могла меняться более чем на 1–3 ‰.

2.3. Формирование и эволюция атмосферы Земли

Из всех планет солнечной системы только Земля обладает уникальной атмосферой, благоприятной для развития и процветания высших форм жизни. Такой оптимальный для жизни состав земной атмосферы возник постепенно за счет длительного взаимодействия процессов дегазации Земли с геохимическими и биологическими преобразованиями вещества, приведшими к связыванию отдельных компонент атмосферы (например, углекислого газа, сероводорода, галогенов и других элементов в осадках и гидросфере нашей планеты) и, наоборот, к высвобождению газа-эликсира высокоорганизованной жизни – кислорода. Но все эти биохимические преобразования состава атмосферы могли осуществляться только в узком диапазоне температур, а именно: температур жидкого состояния воды – от 0 до 100 ^{0}C. И наше счастье, что согревающее нас Солнце является спокойной и небольшой звездой, а Земля расположена от него ровно на таком расстоянии, что средняя температура на земной поверхности не превышает +15 ^{0}C. Если бы светимость Солнца была в 1,5 – 2,0 раза больше, то Земля неизбежно превратилась бы в Венеру с плотной углекислотно-воднопаровой атмосферой, а если меньше, то замерзла бы, подобно Марсу.

Мы помним, что в процессе образования Земли летучие и легкоподвижные компоненты протопланетного вещества были выметены солнечным ветром из внутренних частей газопылевого облака на его периферию в область формирования планет гигантов. Только этим можно объяснить, что, несмотря на распространенность в космическом пространстве многих летучих соединений (например H_2, He_2, N_2, H_2O, CO_2, CO, CH_4, NH_3 и т.д.), в земном веществе их оказалось мало. Так, H_2 меньше, чем в космическом веществе в $10^{6,6}$ раза, N_2 – в $10^{5,9}$ раза, C – в 10^4 раза, а инертных газов – в $10^6 – 10^{14}$ раза. Находящиеся в Земле летучие соединения и элементы (H_2O, CO_2, N_2, HCl, HF, HI и др.) могли попасть на нашу планету только в связанном состоянии: вода – с гидросиликатами, азот – с нитритами

и нитратами, углекислый газ – с карбонатами, графитами, кислород – с окислами металлов и т.д. Поэтому в процессе роста Земли все такие компоненты оказались погребенными в ее недрах, а те остатки реакционно-активных летучих соединений, которые освобождались при ударных взрывах, падавших на Землю планетезималей, должны были усиленно сорбироваться ультраосновными породами (реголитом) и захораниваться под новыми слоями выпадавшего на Землю метеоритного вещества.

Учитывая сказанное, можно подумать, что первичная атмосфера на Земле в основном состояла из благородных газов. Но поскольку этих газов на Земле было очень мало, а ^{40}Ar еще не накопился, так как он является продуктом радиоактивного распада ^{40}K, парциальное давление благородных газов в первичной атмосфере Земли не превышало $1{,}7 \cdot 10^{-5}$ атм. Определить парциальное давление остальных компонентов первичной атмосферы (N_2, H_2O, CO_2 и т.д.) трудно, но можно ожидать, по мнению специалистов, что оно не превышало 10^{-4} атм.

Дальнейшее наращивание атмосферы, как и образование гидросферы, было связано с дегазацией верхней мантии Земли, которая, как мы знаем, началась около 4,0 10^9 лет назад. При дегазации лав на поверхность Земли поступали пары воды (в газовых лавах гавайских вулканов паров воды обнаружилось 70–80 % от объема), углекислый газ (6–15 % от объема), N_2, Cl, NH_3, CH_4, SO_2, H_2S, CH_4S, HCl, HF, Ar, H_2 и другие газы. Как уже указывалось, абсолютное большинство газов конденсировалось, превращаясь в жидкую воду, в которую переходили и другие составные части вулканических газов. Поэтому эта атмосфера оставалась чрезвычайно тонкой, но постепенно в ней происходило накопление газов и прежде всего, азота (N_2) и углекислого газа (CO_2). Таким образом, на начальном этапе дегазации Земли атмосфера обогащалась именно этими двумя газами.

2.3.1. Накопление азота и углекислого газа в атмосфере Земли

О содержании азота в мантии Земли известно довольно мало. Современные оценки дают суммарное содержание азота в мантии $m_g^{N_2} \approx 4{,}07 \cdot 10^{21}$ г, или $4{,}07 \cdot 10^6$ Гт. В атмосфере этого газа содержится $m_a^{N_2} \approx 3{,}87 \cdot 10^{21}$ г, или $3{,}87 \cdot 10^6$ Гт.

Графики скорости дегазации и накопления азота и углекислого газа представлены на рис. 2.7 и 2.8. Как видно из рис. 2.7, скорость дегазации и накопления азота и углекислого газа в противоположность воде, была максимальной в архее, особенно в позднем. В протерозое она резко сократилась. Так, в позднем архее она была приблизительно равна $4{,}8 \cdot 10^{12}$ г/год, тогда как в начале протерозоя снизилась до $0{,}64 \cdot 10^{12}$ г/год. Поскольку в осадочных породах нет буферов, концентрирующих в себе соединения азота, можно считать, что кривая скорости дегазации азота из мантии одновременно будет характеризовать собой и закономерность накопления этого газа в земной атмосфере. При этом мы видим, что поступление азота в атмосферу составляло около 1 % от поступления CO_2.

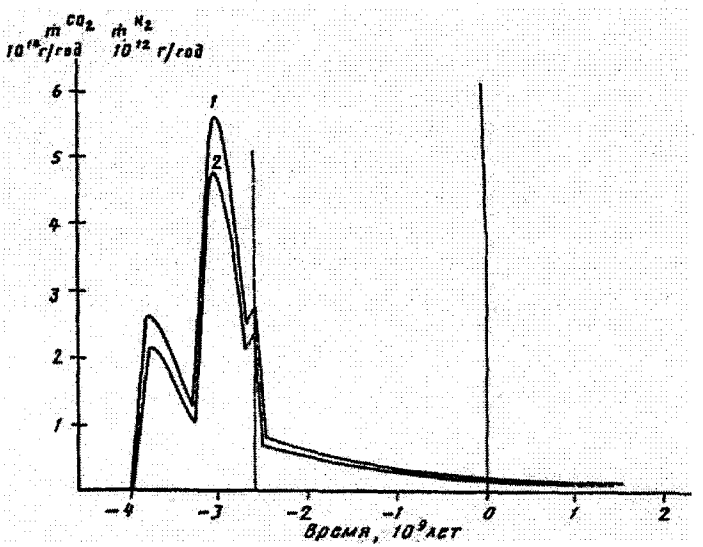


Рис. 2 7. Скорость дегазации газов.
1 – CO_2 и 2 – N_2 (по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

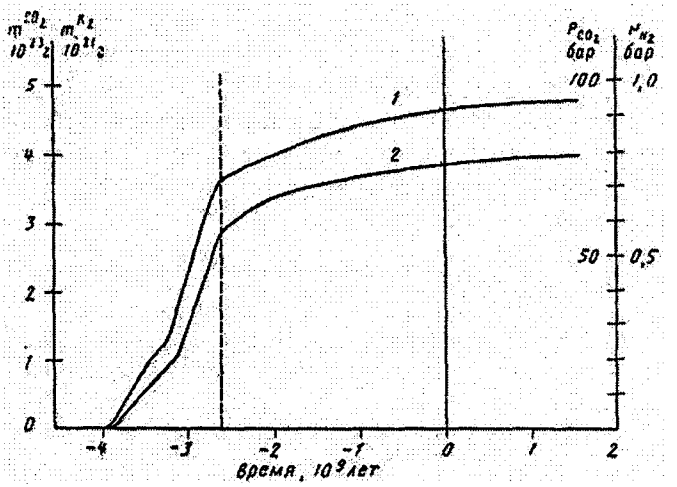


Рис. 2.8. Массы дегазированных из мантии газов (1 – CO_2 и 2 – N_2) и их давления в атмосфере Земли при отсутствии поглощения (по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

Количество CO_2 в мантии Земли по современным оценкам $m_g^{CO_2} \approx 4{,}48 \cdot 10^{23}$. Общая масса дегазированного из мантии CO_2 составляет $m_g^{CO_2} \approx 4{,}63 \cdot 10^{23}$, т.е. в 100 раз больше, чем азота. Скорость его дегазации и накопления массы во внешних оболочках представлены также на рис.2.7 и рис. 2.8.

Рассмотрим вопрос о накоплении CO_2 в атмосфере. В отличие от N_2 после дегазации из мантии CO_2 в большей своей массе связывается с горными породами земной коры. Но для развития такой реакции необходима гидратация пород. При этом на каждые две молекулы CO_2, связываемые в карбонатах, расходуется четыре молекулы воды на гидратацию породообразующих минералов океанической или континентальной коры:

$$\underset{\textit{оливин}}{Mg_2SiO_4} + 4H_2O + 2CO_2 \rightarrow \underset{\textit{серпентин}}{Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8} + \underset{\textit{магнезит}}{2MgCO_3}$$

$$\underset{\textit{апортит}}{2CaAl_2Si_2O_8} + 4H_2O + 2CO_2 \rightarrow \underset{\textit{каолин}}{Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8} + \underset{\textit{кальцит}}{2CACO_3}$$

Следовательно, при избытке углекислого газа в атмосфере и гидросфере практически все реакции сопровождаются связыванием CO_2 в карбонатах. С учетом этого, а также того, что с появлением жизни на Земле часть углекислого газа поглощается живыми организмами и консервируется в органических осадках, эволюция парциального давления CO_2 в земной атмосфере представлена на рис. 2.9.

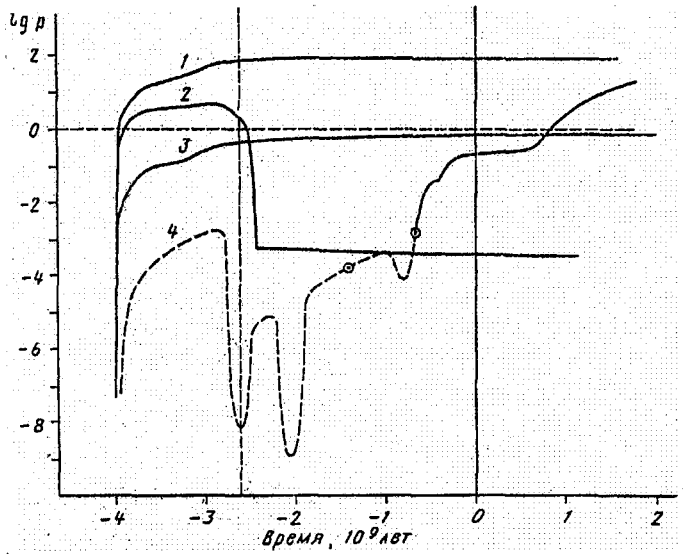


Рис. 2.9. Эволюция парциальных давлений главных компонент земной атмосферы: *1* – эффективное давление CO_2 при условии отсутствия поглощения этого газа в карбонатах; *2* – парциальное давление CO_2; *3* – N_2; *4* – O_2 (по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

Как видно из рис. 2.9, в течение всего архея парциальное давление углекислого газа было исключительно высоким и достигало 4,0 – 4,5 бар. Это объясняется тем, что в архее степень гидратации земной коры была незначительной. В раннем и начале позднего архея давление CO_2 закономерно возрастало до своего пикового значения около $2{,}8 \cdot 10^9$ лет назад. После кульминации давление CO_2 в атмосфере стало быстро падать в связи с начавшейся в это время интенсивной гидратацией пород земной коры и приблизительно через 400 млн. лет, т.е. $2{,}4 \cdot 10^9$ лет назад, оно снизилось более чем в 4 000 раз, опустившись до 0,73 мбар. В дальнейшем, в течение все-

го протерозоя и фанерозоя, давление CO_2 сохранялось на низком уровне, продолжая лишь тенденцию к снижению до современного значения, равного 0,48 мбар. Если бы на Земле не происходило связывание CO_2 в карбонатах и органическом веществе, то давление углекислотной атмосферы превышало бы сейчас 90 бар.

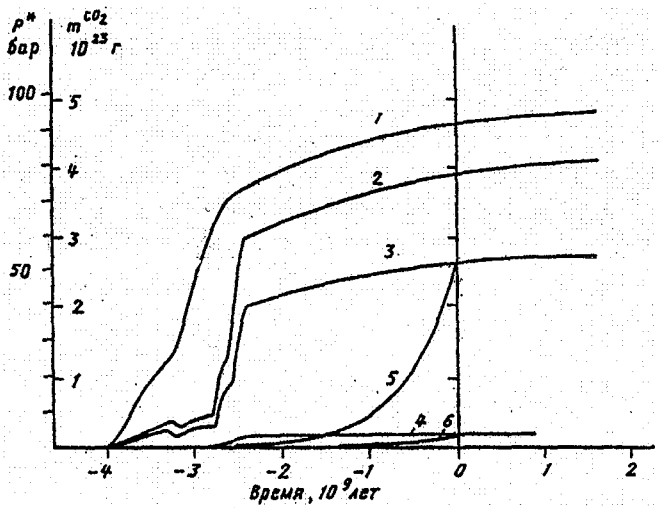


Рис. 2.10. Накопление CO_2 во внешних геосферах Земли:
1 – суммарная масса; *2* – суммарная масса CO_2 в карбонатном резервуаре; *3* – масса CO_2 в осадках; *4* – масса $C_{орг}$; *5* и *6* – накопление CO_2 и $CO_{орг}$. (по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

Сопоставление накопления CO_2 во внешних геосферах Земли представлено на рис. 2.10. Как видно из рисунка, в раннем и начале позднего архея еще было мало карбонатов и органического вещества. Основная их масса стала формироваться только в конце архея, приблизительно $2{,}8 \cdot 10^9$ лет назад. После этого за короткое время (около 400 млн. лет) суммарная масса CO_2 в карбонатах и захороненном органическом углероде увеличилась более чем в 7 раз, достигнув значения $m_{св}^{CO_2} \approx 3{,}6 \cdot 10^{23}$ г. В дальнейшем накопление карбонатов происходило более плавно, и в настоящее время $m_{св}^{CO_2} \approx 4{,}6 \cdot 10^{23}$ г. Общая биомасса на нашей планете росла, по-видимому, пропорционально $m_{св}^{CO_2}$, во всяком случае, начиная с

$3 \cdot 10^9$ лет назад. При этом, правда, необходимо учитывать, что условия консервации $C_{орг}$ в восстановительных обстановках седиментации раннего докембрия были существенно лучшими, чем в позднем докембрии и особенно фанерозое, когда большая часть $C_{орг}$ после отмирания организмов вновь окислялась до CO_2 и поступала в атмосферно-гидросферный резервуар.

Признав важную роль CO_2 в формировании парникового эффекта земной атмосферы, рассмотрим колебания содержания углекислого газа в земной атмосфере за последние 600 млн. лет. На рис. 2.11 приведены изменения концентрации CO_2 в фанерозое. Из графика следует, что в течение фанерозоя количество углекислого газа в атмосфере Земли испытывало заметные колебания. За этот период наблюдалось шесть максимумов концентрации CO_2.

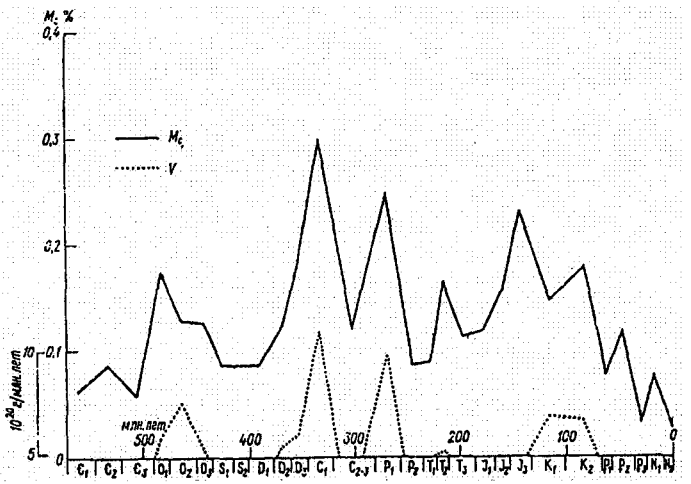


Рис. 2.11. Изменения концентрации углекислого газа (M_C) и скорость формирования вулканических пород (V, 10^{20} г/млн. лет) в фанерозое. (по М.И. Будыко, А.Б.Ронову, А.Л. Яншину, 1985) .

Возникновение максимумов связано, по-видимому, с изменениями уровня вулканической активности, как это видно из рис. 2.11. Если рассматривать последние 150 млн. лет, то видно, что в этот период наблюдается хотя и немонотонное, но выраженное уменьшение содержания CO_2 в атмосфере до самых низких значений в современную эпоху, что связано с понижением вулканической активности в

этот период. Причины изменения вулканической активности, как мы уже знаем, следует искать в изменениях интенсивности конвекции в земной мантии. Таким образом, на фоне общего ослабления тектонической активности Земли и, следовательно, уменьшения поступления углекислого газа в атмосферу Земли весь период фанерозоя характеризовался квазипериодическими усилениями тектонических процессов и усиленным поступлением CO_2 в атмосферу, где его содержание повышалось иногда в 2–3 раза и более за несколько десятков миллионов лет.

Поскольку возможной роли CO_2 отводится очень большое значение при анализе динамики климата Земли, рассмотрим более подробно вопрос о его современном круговороте.

1. Обмен CO_2 между океаном и атмосферой.

Как уже было сказано, общая масса связанного углерода приблизительно составляет $4{,}6 \cdot 10^{23}$ г. Но кроме того, в океанах и других водоемах растворено около $1.3 \cdot 10^{20}$ г CO_2. Масса находящегося CO_2 в атмосфере составляет $2{,}6 \cdot 10^{18}$ г, т.е. в 50 раз меньше, чем его содержится в океане. Между океаном и атмосферой постоянно осуществляется газообмен из-за различия температуры океанических вод в высоких и низких широтах, а также из-за сезонных изменений температуры воды.

Из данных наблюдений установлено, что концентрация углекислого газа в области экватора несколько выше его концентрации в высоких широтах Земли. Такое различие объясняется более высокой растворимостью углекислого газа в холодных водах океана. В результате этого атмосфера в высоких широтах теряет часть углекислого газа, который переносится глубинными течениями в низкие широты и там возвращается в атмосферу. Обусловленный этим механизмом поток CO_2 между Северным полюсом и экватором составляет примерно $2 \cdot 10^{16}$ г/год. Столько же (если не больше) переносится углекислого газа из высоких широт в низкие и в Южном полушарии. Считается, что этот газообмен практически полностью замкнут (т.е. атмосфера ежегодно получает то же количество углекислого газа, которое она отдает в океан). И в связи с этим делается утверждение, что рассматриваемая форма газообмена не оказывает существенного влияния на изменения количества CO_2 в атмосфере. Но это совершенно не очевидно, особенно с учетом того, что на-

блюдениями обнаружены существенно заметные изменения во времени температуры воды в поверхностных и глубинных слоях океана. При этом всегда следует помнить, что изменения содержания углекислого газа в океане на 1 % приведет к изменению содержания его в атмосфере на 50 %. Так современное повышение CO_2 в атмосфере на 20 % соответствует уменьшению его содержания в океане всего на 0,4 %.

2. Биотический цикл CO_2.

При фотосинтезе наземные растения используют прежде всего атмосферный CO_2 и значительно меньше берут его из почвы, а водные – поглощают растворенный в воде углекислый газ. От половины до двух третей первичного расхода CO_2 возвращается в атмосферу за счет дыхания растений. Установлено, что при современном уровне продуктивности зеленой массы атмосфера ежегодно теряет $2{,}8 \cdot 10^{17}$ г/год, но это без учета участия углекислого газа гидросферы. Основная часть CO_2 возвращается в атмосферу в результате процессов деструкции органического вещества. Сравнительно небольшая его часть (приблизительно $3 \cdot 10^{13}$г/год) захоранивается в осадках. Такая скорость захоронения соответствует плиоцену. В то же время за счет сжигания топлива в атмосферу поступает почти на два порядка углерода меньше, чем его связывается при продуцировании органического вещества на Земле. Поэтому биота также является регулятором CO_2 в атмосфере Земли.

3. Расход CO_2 на образование карбонатов.

Скорость расхода углекислого газа на образование карбонатных пород в плиоцене была в 6 раз больше скорости захоронения органического углерода ($1{,}8 \cdot 10^{14}$ г/год). Однако ее изменения даже в 3–4 раза еще менее вероятны и ничем не подтверждаются.

4. Скорость поступления CO_2 за счет дегазации мантии.

Эта скорость составляет около $2 \cdot 10^{13}$ г/год. Она может меняться как в долгосрочном, так и в относительно краткосрочном плане вследствие изменения вулканической активности на Земле. Эти изменения могут приводить к заметным изменениям содержания углекислого газа в атмосфере Земли, как уже указывалось ранее.

5. Антропогенная деятельность.

В атмосферу в результате человеческой деятельности в последние годы поступает около $5 \cdot 10^{15}$ г/год углекислого газа. Это

существенная величина, способная за 100 лет изменить содержание CO_2 в атмосфере на 20%.

В заключение несколько слов о возможности изменения в атмосфере содержания азота. Круговорот атмосферного азота значительно отличается от круговорота углекислого газа, что объясняется существенно меньшей химической активностью азота. Скорость поступления атмосферного азота в отложения гораздо меньше скорости перехода в отложения атмосферного углерода (примерно в 100 раз). Благодаря этому соотношение азота и углекислого газа в послеархейское время поддерживалось в атмосфере на одном уровне.

Наряду с обменом азота в системе атмосфера – глубокие слои Земли существует внутренний круговорот азота, охватывающий атмосферу, почву и частично гидросферу. Этот круговорот представляет собой практически замкнутый цикл, в который вовлечена относительно малая часть атмосферного азота, причем во внутреннем цикле не происходит сколько-нибудь заметного увеличения или уменьшения количества свободного азота. Этот круговорот не способен оказывать прямого влияния на эволюцию химического состава атмосферы, поскольку масса атмосферного азота очень велика.

Внутренний круговорот азота может оказывать косвенное влияние на эволюцию атмосферы в связи с необходимостью использования растениями при фотосинтезе соединений азота, которые часто содержатся в почве и водах гидросферы в недостаточном количестве для поддержания высокой продуктивности фотосинтеза. Однако сам фотосинтез, как мы уже видели, не способен оказать заметного влияния на состав атмосферы без существенного вмешательства человека.

2.3.2. Изменение количества кислорода в атмосфере Земли

Количественно оценить эволюцию содержания кислорода в земной атмосфере очень трудно, поскольку оно сильно зависело от таких трудно учитываемых факторов, как характер и уровень метаболизма древних фотосинтезирующих микроорганизмов, режимов поглощения CO_2 в окисно-железном и сульфатном резервуарах седиментосферы, условий застоя (стагнации) или перемешивания вод древних океанов и т. д. Поэтому общая картина возможных колебаний парциального давления кислорода в земной атмосфере авторы

теории эволюции Земли О.Г. Сорохтин и С.А. Ушаков описывают только на качественном уровне.

Прежде всего они оценили суммарную массу кислорода в геохимическом резервуаре седиментосферы Земли. По оценкам А.Б. Ронова и А.А. Ярошевского (1978) в земной коре содержится около $1{,}95 \cdot 10^{22}$ $C_{орг}$, с которым когда-то было соединено приблизительно $5{,}2 \cdot 10^{22}$ кислорода. Весь этот кислород за счет биогенного процесса восстановления кислорода из углекислого газа мог бы поступить в атмосферу, если бы он не связывался с железом и серой. По данным тех же авторов, сейчас в земной коре содержится $6{,}9 \cdot 10^{23}$ г Fe_2O_3 и $2{,}83 \cdot 10^{22}$ г SO_3. Освобождающийся кислород тратился на окисление железа от двухвалентного до трехвалентного состояния. О.Г. Сорохтин и С.А. Ушаков посдчитали, что на эту реакцию кислорода ушло около $6{,}9 \cdot 10^{22}$ г, а на окисление сульфатной серы – $1{,}7 \cdot 10^{22}$ г.

В современной атмосфере содержится около $1{,}2 \cdot 10^{21}$ г кислорода. Отсюда общая масса O_2 в кислородном резервуаре земной коры и атмосферы равна приблизительно $8{,}72 \cdot 10^{22}$ г. Но как было сказано раньше, за счет фотосинтеза микроорганизмов, водорослей и растений в тот же резервуар могло поступить только $5{,}2 \cdot 10^{22}$ г кислорода. Разница в $3{,}52 \cdot 10^{22}$ г должна была поступить из других источников. Такими источниками могли быть только диссоциация воды жестким излучением Солнца и реакция галогенизации окислов щелочных и щелочноземельных металлов:

$$Na_2O + 2Cl \rightarrow 2NaCl + O,$$

$$CaO + 2F \rightarrow CaF_2 + O.$$

Суммарная масса галоидов в земной коре и гидросфере примерно $4{,}4 \cdot 10^{22}$ г, поэтому таким путем кислорода должно было освободиться около $0{,}99 \cdot 10^{22}$ г. Следовательно, за счет диссоциации воды в общий кислородный резервуар должно было попасть $2{,}53 \cdot 10^{22}$ г.

Часть этого кислорода могла освобождаться не только за счет прямой фотодиссоциации воды жестким излучением Солнца, но также за счет ее биохимического расщепления автотрофными организмами в процессе анаэробного метаболизма брожения. Эти эффекты не разделить, но, по-видимому, в раннем докембрии явно доминировала фотодиссоциация воды над ее биологическим расщеплением.

Сейчас механизм фотодиссоциации паров воды жестким излучением Солнца работает не очень активно, поскольку современный озоновый слой достаточно эффективно защищает Землю от жесткого излучения Солнца. В настоящее время по оценкам только 10^{-6} часть кислорода в атмосфере генерируется за счет фотодиссоциации паров воды, остальное – результат фотосинтеза растений и водорослей. При общем низком содержании кислорода в атмосфере раннего докембрия и отсутствии озонового слоя такая генерация O_2 могла играть заметно более существенную роль. На рис. 2.12 приведены кривые изменения поступления O_2 в кислородный резервуар Земли.

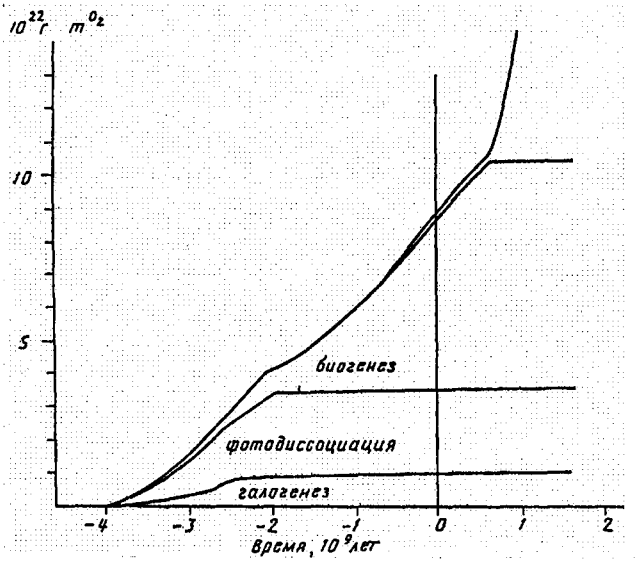


Рис. 2.12. Накопление кислорода в резервуарах осадочных пород и в атмосфере (с указанием источников поступления) (по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

Оценить динамику парциального давления кислорода значительно сложнее, поскольку давление O_2 зависело от нескольких трудноопределяемых геохимических условий выделения и поглощения кислорода, господствовавших только в докембрии и никогда не повторявшихся впоследствии. Поэтому восстановление основных закономерностей изменения давления кислорода было осуществлено О.Г. Сорохтиным и С.А.Ушаковым по геохимическим данным.

Парциальное давление кислорода в атмосфере архея и раннего протерозоя было очень низким. Геохимические характеристики древних осадочных образований указывают на существование восстановительной обстановки и практически полного отсутствия кислорода в атмосфере в период до 2,0 млрд. лет назад. Оценки показывают, что от 2,8 до 2,0 млрд. лет назад парциальное давление кислорода не превышало $10^{-8} - 10^{-9}$ атм. и, во всяком случае, никогда не было больше, чем 10^{-5} атм. Возможно, что содержание кислорода повышалось до этого уровня в период от 2,6 до 2,2 млрд. лет назад. После 2,0 млрд. лет назад ученые фиксируют красноцветные осадки терригенного происхождения. Это означает, что в этот период в атмосфере уже появился свободный кислород.

Появление свободного кислорода, безусловно, должно было стимулировать эволюцию жизни. По палеонтологическим данным известно, что первые находки эукариот (органических клеток с обособленным ядром) относят к толщам среднего протерозоя с возрастом около $1{,}4 \cdot 10^9$ лет назад. Зарождение эукариотических организмов произошло, по-видимому, значительно раньше, где-то также около 2 млрд. лет назад. Но эукариоты в тот период могли существовать только в рамках прокариотических экосистем, в которых кислорода для их существования было достаточно. Самостоятельных экосистем эукариоты тогда еще создать не могли. Для своего развития эукариотический фитопланктон требует небольших количеств растворенного в воде кислорода. Развитие эукариот начинается только с 1,4–1,2 млрд. лет назад. Поэтому можно связать это событие с переходом атмосферы через "точку Юри", определяемую давлением кислорода в 10^{-3} от современного уровня. Другие расчеты также показывают, что "точку Юри" атмосфера прошла где-то около $1{,}2 \cdot 10^9$ лет назад. С этого времени начали образовываться мощные пласты кислой выщелоченной коры выветривания в ряде областей на поверхности континентов, окрашенные гидроокислами в бурые и красные цвета.

Уже через 300–400 млн. лет после прохождения атмосферой точки Юри эукариотические организмы завоевали просторы Мирового океана. Разнообразие живых биоорганизмов значительно возросло, поскольку эукариоты могли размножаться половым путем в отличие от прокариот.

С биологической точки зрения критическим уровнем свободного кислорода в атмосфере является так называемая точка Пастера, соответствующая $p(O^2) \approx 10^{-2}$ современного уровня. При этом уровне организмы переходят на использование энергии процессов окисления при дыхании, которые в 30–50 раз более эффективны по сравнению с процессами ферментативного (анаэробного) брожения. По различным оценкам точка Пастера была достигнута атмосферой 600–680 млн. лет назад. Так, находки древних многоклеточных организмов царства животных датируются около 680 млн. лет назад. Прохождение атмосферой этой точки явилось мощнейшим стимулом дальнейшей эволюции биосферы, в результате чего за относительно короткий срок было создано то разнообразие форм и размеров живых организмов, которое мы наблюдаем в настоящее время.

Интересно, что момент достижения кислородным давлением уровня Пастера и появления первых многоклеточных животных близко совпадает (с точностью расчетов) с определенным ранее временем полного исчезновения из мантии металлического железа – главного поглотителя кислорода во внешних геосферах Земли. После этого дальнейшее накопление кислорода в земной атмосфере должно было происходить значительно быстрее.

Однако в течение всего рассматриваемого периода жизнь существовала только в океане. Проникновение растений на сушу происходило очень медленно и в наиболее примитивных формах. Главным препятствием, тормозившим этот процесс, было отсутствие в атмосфере озонового экрана, который бы защищал живые организмы от жестких излучений Солнца. Появление озонового слоя произошло, по расчетам Л. Беркнера и Л. Маршала, около 400 млн. лет назад и отвечало содержанию кислорода в атмосфере порядка 10 % от современного уровня (10^{-1}). Эту точку можно назвать точкой озонового слоя. Прохождение ее атмосферой позволило растениям и животным очень быстро завоевать сушу Земли и дать то великое разнообразие флоры и фауны, которое мы имеем в настоящее время. После этого содержание кислорода в атмосфере возросло до современного уровня за счет бурного фотосинтеза в гигантских лесах на континентах того времени.

При современном уровне продуцирования кислорода (около $3{,}3 \cdot 10^{17}$ г/год) весь его объем в атмосфере обновляется всего за 3 800 лет. Принимая, что приблизительно 80 % ежегодной продукции

кислорода поставляется наземными растениями, можно ожидать, что уже в самом конце протерозоя обновление кислородного запаса в атмосфере могло происходить за 20–25 тыс. лет, т.е. за ничтожно малое время по сравнению с длительностью геологических процессов.

В середине девона (370–380 млн. лет назад) концентрация кислорода, вероятно, уже составляла не менее 20 % от современного уровня, а парциальное давление $P(O_2) \approx 0{,}04$–$0{,}05$ бар. В конце же палеозоя (250–240 млн. лет назад) концентрация и парциальное давление кислорода уже приблизились к современному уровню – $P(O_2) \approx 0{,}23$ бар.

По-видимому, в природе существует очень чувствительный механизм регулирования парциального давления кислорода. Осуществляется такое регулирование за счет установления динамического равновесия между двумя процессами. С одной стороны, – это мощность биологических механизмов генерации кислорода, зависящая от содержания углекислого газа и фосфора в атмосфере, океанической воде и почвах, а с другой – процессы поглощения кислорода, определяемые его парциальным давлением в атмосфере, благодаря разложению в осадках органического углерода и его повторного окисления до углекислого газа. Какая-то часть кислорода тратится на окисление горных пород и некоторых газов, поступающих из мантии Земли. Но основное – это биотический круговорот. Если "что-то" не нарушит этот естественный процесс, то можно ожидать, что установившийся в последние 250 млн. лет равновесный уровень содержания кислорода в современной атмосфере (20,95 % по объему и $P(O_2) = 0{,}232$ бар) сохранится надолго – до полного окисления двухвалентного железа в мантии, т.е. еще приблизительно 600 млн. лет.

Следует отметить, что существуют оценки содержания кислорода в атмосфере Земли за последние 600 млн. лет, которые позволяют предполагать, что увеличение кислорода в атмосфере было не равномерным, а характеризовалось неоднократными волнообразными подъемами и спадами (М.И. Будыко, А.Б. Ронов, А.Л. Яншин, 1985). По этим оценкам за последние 500 млн. лет наблюдалось три максимума и три минимума содержания кислорода (рис. 2.13). Во время двух последних максимумов – около 330 млн. лет и 120 млн. лет назад – содержание кислорода в атмосфере Земли превосходило современный уровень. Последний минимум содержания кислорода

наблюдался в эоцене около 40–50 млн. лет назад, когда количество кислорода в атмосфере составляло около 70 % от современного значения. Причины таких колебаний достаточно очевидны – это изменение соотношения между продуктивностью фотосинтеза и условиями захоронения органического углерода. Продуктивность фотосинтеза во многом определяется структурой растительного покрова (его распространением и видовым составом), количеством углекислого газа в атмосфере и климатическими условиями. Глобальные условия захоронения органического углерода во многом зависят от условий увлажнения на континентах. Можно полагать, что такие колебания содержания кислорода в атмосфере Земли в фанерозое действительно имели место, однако определение масштабов таких колебаний требует еще уточнения.

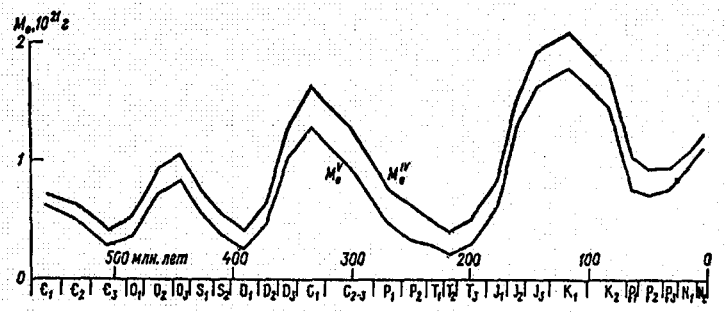


Рис. 2.13. Изменения массы кислорода в фанерозое по двум расчетам (по М.И. Будыко, А.Б. Ронова, А.Л. Яншина, 1985).

В современную эпоху определенное количество кислорода расходуется на сжигание различных видов углеродного топлива. Скорость такого потребления O_2 оценивается в $1{,}3 \cdot 10^{16}$ г/год. Это вполне заметная величина, лишь немногим более чем на порядок меньше количества кислорода, поступающего в атмосферу за счет фотосинтеза. Однако в обозримом будущем состав атмосферы изменится сколько-нибудь заметно вследствие сжигания углеродного топлива не может, поскольку, во-первых, кислорода в атмосфере содержится на пять порядков больше, чем его тратится на сжигание ($1{,}2 \cdot 10^{21}$ г) и, во-вторых, количество сжигаемого топлива неизбежно будет сокращаться. Таким образом, влияние хозяйственной деятельности на содержание кислорода несравненно слабее аналогичного воздействия на CO_2.

На последнем этапе тектонического развития Земли, через 600 млн. лет, должно начаться выделение глубинного кислорода, освобождающегося в процессе дифференциации земного вещества за счет разложения окислов железа: $2Fe_3O_4 \rightarrow 3Fe_2O + 5O$. Через 1 млрд. лет $P(O_2)$ уже достигнет 2,65 бар, а около 1,6 млрд. лет будет равно 43 бар. Естественно, вся жизнь сгорит без остатка в такой атмосфере. Жизнь может сохраниться какое-то время только в океанах до их полного выкипания в дальнейшем.

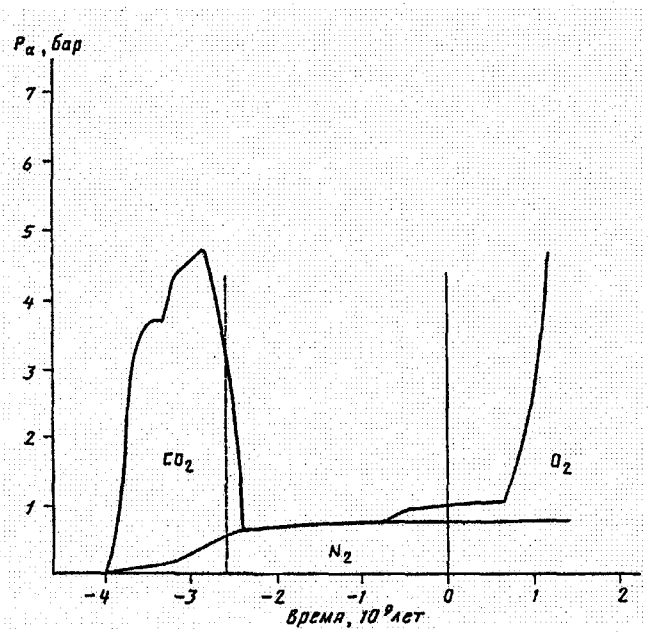


Рис. 2.14. Эволюция состава и давления земной атмосферы по ее главным компонентам. (по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

Суммарная схематичная картина изменения состава и давления атмосферы Земли изображена на рис. 2.14. В архее атмосфера в основном, состояла из CO_2. Суммарное давление было равно 4,0– 4,5 бар. В протерозое, после резкого снижения $P(CO_2)$, атмосфера стала азотной с общим пониженным давлением $P(N_2)$ от 0,64 до 0,75 бар, и, наконец, только в фанерозое она приняла привычный для нас азотно-кислородный состав, а ее давление поднялось до 1 бара.

2.4. Эволюция теплового режима атмосферы

Изменение теплового режима атмосферы столь важный вопрос, с точки зрения эволюции биосферы Земли, что его необходимо рассмотреть в отдельном разделе этой главы.

Рассматривая эволюционные изменения теплового режима земной атмосферы, необходимо учитывать, что солнечная постоянная в действительности не оставалась постоянной, а монотонно увеличивалась после перехода Солнца на главную последовательность развития звезд. Событие это, по-видимому, совпадает с моментом образования Земли. Следовательно, 4,6 млрд. лет назад светимость Солнца была на 20 – 30 % ниже, чем в настоящее время. С учетом этого, а также с учетом изменения состава атмосферы О.Г. Сорохтин и С.А. Ушаков рассчитали изменение температуры атмосферы на Земле за весь исторический период (рис. 2.15).

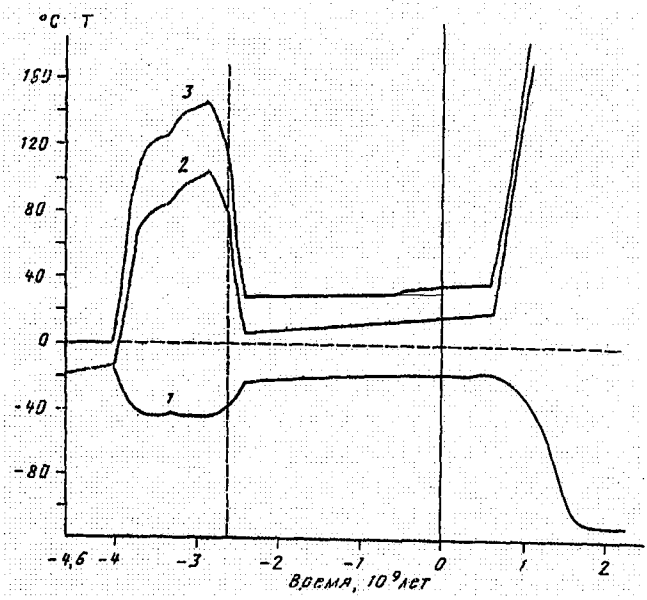


Рис. 2.15. Эволюция температурного режима земной атмосферы: *1* – эффективная температура T_e; *2* – приземная температура T_s; *3* – величина парникового эффекта $\Delta T_{\text{пэ}} = T_s - T_e$ (по О.Г. Сорохтину, С.А. Ушакову, 1991).

Как видно из рис. 2.15, в катархее (4,6–4,0 млрд. лет назад) на Земле господствовали холодные условия, и средние температуры не превышали –15 ^{0}C. Поскольку тогда не было еще атмосферы, то эти условия очень напоминали лунные (как мы их сегодня представляем), но с той лишь разницей, что Земля в катархее вращалась вокруг своей оси с большой скоростью и ее сутки продолжались от 6 до 9 ч. Альбедо Земли в это время было таким же или даже меньшим, чем у Луны ($A \leq 0{,}06$–$0{,}07$). Из-за отсутствия атмосферы в катархее $T_s = T_e$.

Из характеристик атмосферы для формирования климата очень важна суммарная масса атмосферы M, определяющая как ее механическую и тепловую инерцию, так и ее возможности как теплоносителя – переносить тепло от нагретых областей к охлажденным и тем самым частично выравнивать горизонтальные разности температур.

Согласно теории подобия для циркуляции атмосфер планет, созданной крупным российским специалистом по гидрофизической гидродинамике Г.С. Голицыным, при не очень малой массе атмосферы (скажем не менее одной тысячной современной) средние скорости ветра в ее нижних слоях и типичные горизонтальные разности температур (в том числе средняя разность температур между экватором и полюсами) зависит от M по закону $1/\sqrt{M}$.

По этой причине на самых ранних стадиях формирования атмосферы, когда ее масса была примерно в 100 раз меньше современной (и была в этом отношении похожа на сегодняшнюю атмосферу Марса), скорости ветра в ней и разности температур между экватором и полюсами были в 10 раз больше современных, т.е. ветры были очень сильными и на полюсах было очень холодно.

Не менее (если не более) важен для формирования климата Земли состав атмосферы. С началом дегазации Земли и формирования гидросферы и атмосферы около $4 \cdot 10^9$ лет назад, в раннем архее, резко возросло альбедо планеты – до 0,40–0,42, и температура, казалось бы, должна была снизиться. Но приземная температура воздуха стала быстро подниматься из-за парникового эффекта, т.е. вследствие накопления CO_2 в атмосфере Земли, и к концу раннего архея достигла 90 ^{0}C. В позднем архее перегрев атмосферы увеличился еще более и достиг максимума (103 ^{0}C) где-то около $2{,}8 \cdot 10^9$ лет назад. В то время альбедо планеты составляло 0,45, а ее облачный

покров был более густым, чем сейчас, при современном значении альбедо, равным 0,3.

Таким образом, в течение всего архея на Земле господствовали условия горячего климата с повышенным давлением углекислотной атмосферы. Приповерхностные температуры атмосферы достигали, а может, и несколько превосходили, 100 ^{0}C. Тем не менее, выкипания океанов не происходило, поскольку кипение воды при существовавших тогда давлениях от 4,0 до 4,5 атм. начинается только при 140–150 ^{0}C. И это большое счастье, что в архее не произошло вскипание океанов, иначе неизбежно возник бы необратимый переход к плотной углекислотно-паровой атмосфере с резко повышенными давлениями (до 280–300 атм.) и температурами (до 400–500 ^{0}C). Однако Земля в позднем архее была достаточно близка к такой климатической катастрофе. Спасло Землю то, что к этому времени накопилось в океане достаточно воды и поверхность океана перекрыла уровень стояния гребней срединно-океанических хребтов, после чего началась интенсивная гидратация базальтов океанической коры, постоянно обновляемой, сопровождавшаяся связыванием атмосферного CO_2 в карбонатах. И особенно усилилось такое связывание CO_2 в карбонатах в самом начале протерозоя, после возникновения серпентинитового слоя океанической коры. В результате катастрофа возникновения на Земле необратимого сверхгорячего климата миновала. Но если бы на Земле было немного меньше воды или в составе ее первичного вещества отношение Fe/FeO превышало бы 0,55–0,60, то катастрофа оказалась бы неминуемой, и наша Земля еще около 2,6 млрд. лет назад неизбежно превратилась бы во враждебную всему живому венероподобную планету.

Таким образом, в раннем протерозое за счет связывания CO_2 в карбонатах давление этого газа в земной атмосфере быстро снизилось. Однако прошло около 160 млн. лет прежде чем оно достигло нормального для протерозоя уровня – около 0,7 мбар ($7\cdot10^{-4}$ атм.). Одновременно вследствие уменьшения парникового эффекта столь же быстро в начале протерозоя снизилась и средняя температура Земли с 83 ^{0}C около $2{,}6\cdot10^9$ лет назад до 6 ^{0}C $2{,}4\cdot10^9$ лет назад. В результате наступило самое холодное время в геологической истории нашей планеты, не считая катархея, который надо относить к

догеологическому этапу развития Земли. Именно в этот период на Земле развивается наиболее древнее и самое обширное Гуронское оледенение, проявившееся на всех древних платформах. Этому способствовало и то, что в самом конце архея в высоких широтах возник первый в истории Земли суперконтинент Моногея.

Однако дело не дошло до полного оледенения Земли и возникновения устойчивого состояния "белой планеты" с повсеместно низкими температурами ($T_s < 0\ ^0$C), столь же губительными для жизни, как и горячие условия планеты венерианского типа.

В связи с пониженным давлением атмосферы климат Земли в протерозое отвечал современным высокогорным условиям с высотами над уровнем моря от 3,6 км в начале эпохи до 1,8 км в конце протерозоя. По этой же причине в конце протерозоя должен был наблюдаться большой широтный контраст приземных температур и резкие колебания суточного хода температуры. В то время на возвышенных участках суши повсеместно низко располагалась и снеговая линия.

С появлением в самом конце протерозоя в заметных количествах кислорода и, следовательно, увеличения давления, и светимости Солнца, климат Земли постепенно теплел, повышалась пиземная температура воздуха, достигшая к настоящему времени 15 ^{0}C. Одновременно возрос и парниковый эффект, несмотря на снижение парциального давления CO_2 с 0,73 до 0,48 мбар.

Общее и плавное потепление климата Земли за счет постепенного возрастания давления ее атмосферы и увеличения солнечной постоянной будет продолжаться и далее, вплоть до критического рубежа примерно через 600 млн. лет.

Предложенное описание картины изменений климата Земли – это средний фон, без учета таких факторов, как дрейф континентов, колебание уровня и циркуляции вод океанов и др. Однако колебания климата Земли, вызываемые другими факторами, происходили вокруг среднего фона, описанного выше.

Какие другие факторы, кроме светимости Солнца, массы и состава атмосферы влияли и влияют на формирование климата Земли? Их можно условно разделить на две группы: геофизические и географические факторы и астрономические.

Геофизические и географические факторы.

– распределение и размер площадей океанов и континентов, высота континентов над уровнем моря;

– свойства нижней границы подстилающей поверхности, определяющие тепловое и динамическое взаимодействие атмосферы – океана – суши.

Внешние астрономические факторы.

– положение и движение планеты в Солнечной системе;

– наклон оси вращения к плоскости орбиты;

– скорость вращения Земли;

– колебания характеристик орбитального движения.

Рассмотрим некоторые их них. Так, в периоды усиления тектонической активности Земли, особенно при формировании одноячеистой или двухъячеистой конвекции, в мантии Земли происходило формирование суперконтинентов, иногда в полярных областях Земли. В эти периоды, если при этом не наблюдалось заметной трансгрессии океана и не возникало системы теплых океанических течений, обогревавших эти континенты, на них возникали покровные оледенения. В геологической истории Земли зарегистрировано, по крайней мере, четыре крупных оледенения: *Гуронское* оледенение раннего протерозоя, о котором мы уже говорили; *Лапландское* оледенение суперконтинентов Лавразии и Гондваны в конце протерозоя, *палеозойское* оледенение Гондваны и, наконец, *кайнозойско-четвертичное* оледенение Антарктиды и северных материков, продолжающееся в Гренландии и сегодня.

Оледенения меняли альбедо нашей планеты и приводили к заметным нарушениям радиационного баланса Земли. Тем не менее, ни разу в истории Земли не возникала ситуация "белой Земли" с очень высоким альбедо $A \approx 0{,}8$–$0{,}9$, которое является устойчивым, раз возникнув. Наиболее близко Земля подходила к такому состоянию в раннем протерозое около $2{,}4 \cdot 10^9$ лет назад. Но до переохлаждения Земли и тогда было далеко.

Второй фактор, также связанный с интенсивностью тектонической активности Земли, играл не менее заметную роль в колебаниях климата на Земле. Это – изменение скорости движения тектонических плит, которые приводили к периодически повторяющимся трансгрессиям и регрессиям моря. Усиление тектонической активно-

сти и, следовательно, ускорение движения океанических плит приводило к трансгрессиям моря и, наоборот, ослабление – к регрессиям.

Так, большую часть палеозоя наблюдалась трансгрессия моря, за исключением периодов на границе силура и девона, а также перми и триасса. Последняя регрессия моря на границе палеозоя и мезозоя была особенно сильной. Площадь континентов увеличилась в этот период почти на 30 %, и очень сильно похолодало на Земле. В юре и особенно в мелу наблюдалась новая и очень сильная трансгрессия моря. По-видимому, в этот период наблюдался самый теплый за всю историю Земли климат. Однако на границе с кайнозоем – вновь регрессия моря и сильное похолодание на Земле. В палеогене уровень повышался, а в неогене вновь началось понижение уровня моря и похолодание. В этот последний период произошел и выход Антарктиды в район Южного полюса (около 25 млн. лет назад), началось очередное крупное оледенение на Земле.

Из астрономических факторов, влияющих на формирование климата, следует обратить внимание на изменение скорости вращения Земли вследствие ее приливного замедления. Когда Земля вращалась быстрее, суточные колебания температуры и других элементов погоды были слабее, общая циркуляция атмосферы была более зональной (т.е. направления воздушных течений были ближе к кругам широты), горизонтальные размеры ее возмущений (циклонов и антициклонов) были меньше и сами возмущения были слабее. Различия между экватором и полюсами были больше.

В будущем, когда вращение Земли сильно замедлится и длина суток будет заметно больше современной, на Земле разовьются очень сильные (хотя и медленные) суточные колебания погоды, особенно температуры, ветра и облачности, а также будут наблюдаться очень сильные нерегулярные колебания погоды в огромных мощных циклонах и антициклонах, которые в среднем значительно сгладят разницу между экватором и полюсами.

Исключительно большое значение для климата имеет наклон экватора планеты к плоскости ее орбиты в Солнечной системе — ε. Если он мал (как, например, у Венеры или Юпитера), то практически не происходит смены сезонов года, и разница в суммах приходящего солнечного тепла между экватором и полюсами максимальна (на полюсы тепла почти не приходит), так что климат обладает

наиболее резко выраженной широтной зональностью. Если наклон близок к 90° (например, как у Урана), то смена сезонов наиболее резкая: на экваторе за год дважды сменяется зима и лето (и в середине зимы тепла на экватор почти не приходит), а на каждом полюсе день и ночь занимают по полгода (и в середине дневного полугодия Солнце на полюсе стоит в зените). Расчет показывает, что промежуточным является случай, когда наклон близок к 54°. Тогда годичная инсоляция на экваторе и полюсах оказывается одинаковой, так что в среднем за год широтная зональность исчезает. Правда, в конкретные сезоны она имеет место и смена сезонов выражена весьма резко.

На Земле в прошлом наклон ε был меньше современного (23° 56′), так что сезонные изменения погоды были слабее, а разница между полюсами и экватором была больше (на полюсы попадало меньше солнечного тепла), широтная зональность была выражена резче, общая циркуляция атмосферы была более зональной и более интенсивной. Эти условия были более благоприятны для развития оледенений в полярных районах, особенно при наличии в них континентов и этим, по-видимому, можно объяснить обнаруживаемые геологами следы множественных докембрийских оледенений.

В будущем ε возрастет, так что сезонные колебания будут увеличиваться, а широтная зональность климата, разница между экватором и полюсами и интенсивность зональной циркуляции атмосферы будут ослабевать.

Наряду с такими крупными как по амплитуде, так и по временным масштабам, колебаниям климата существуют колебания более короткопериодные, с меньшими амплитудами. Так, наиболее многочисленные и разнообразные данные за последние 600 тыс. лет показывают, что континентальные оледенения образовывались и стаивали с периодичностью в среднем около 100 тыс. лет и меньшими. Такие колебания климата Земли объясняют в настоящее время, в соответствии с теорией выдающегося югославского ученого М. Миланковича, изменениями параметров орбиты Земли, вследствие чего происходит перераспределение годичной суммы солнечного тепла по широтам и сезонам года.

М. Миланкович в своем выдающемся труде “Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата”, из-

данной в России в 1939 г., сумел объяснить колебания климата Земли за последние 1,8 млн. лет изменениями трех астрономических параметров: ε –наклона экватора Земли к плоскости ее орбиты, e – эксцентриситета орбиты Земли и ω – долготы перигелия Земли по отношению к моменту весеннего равноденствия (координата, определяющая положение Земли на орбите при максимальном ее приближении к Солнцу).

Средняя за год на единицу площади величина энергии получаемой от Солнца, равна

$$I_{ср} = 0{,}25\, I_0\, (1 - e^2)^{-1/2},$$

где I_0 – солнечная постоянная, а e, как уже указывалось, эксцентриситет орбиты Земли. Таким образом, изменения общего тепла, приходящего на Землю, может зависеть только от изменения во времени параметра e.

Параметры ω и ε не оказывают влияния на получение Землей годичной суммы солнечного тепла, но могут приводить к изменениям распределения этого тепла по широтам и сезонам года. Запишем величину приходящей энергии от Солнца на определенной широте φ:

$$I_\varphi = I_0\, [1 + e\cos(\lambda - \omega)]\, (1 - e)^{-1/2}\, [\sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos H],$$

где λ – долгота Солнца; δ – склонение Солнца; H – часовой угол Солнца,

$$\sin\delta = \sin\lambda\, \sin\varepsilon.$$

Таким образом, величина энергии, получаемой от Солнца, может перераспределяться по широтам и сезонам года в зависимости от изменений параметров ω и ε. Периодичность таких изменений зависит от того, с какой периодичностью меняются эти параметры. Основные периодичности изменений параметров e, ω и ε следующие:

e – 100 тыс. лет,
ώ – 19 тыс. и 23 тыс. лет,
ε – 41 тыс. лет.

Как показал анализ плейстоценовых оледенений, основные периодичности их повторений совпадают с основными периодичностями изменений указанных параметров. Рассчитанные теоретиче-

ски периоды ледниковых эпох неплохо совпали с фактическими. Были сделаны и расчеты на будущее. Ближайшая ледниковая эпоха наступит через 170 тыс.лет, а очень сильное оледенение через – 500 тыс. лет. Но уже очень заметное похолодание климата произойдет через 10–15 тыс. лет.

Следует подчеркнуть одну особенность проявления указанных факторов в динамике климата. Влияние изменений наклона экватора Земли к плоскости ее орбиты, эксцентриситета орбиты и долготы перигелия Земли стали заметны в изменениях климата только в плейстоцене, когда произошло генеральное похолодание климата. Реакции на эти колебания у климата Земли не было, пока он был в целом заметно теплее, поскольку не могли создаться условия для оледенения при более высоких средних температурах воздуха.

Наряду с колебаниями климата в несколько десятков и сотен тысяч лет существуют и более короткопериодные колебания в десятки и сотни лет. Так, около 1000 лет назад климат был теплее, чем сейчас, а начиная с XV века и по XIX более холодный. Конец XIX и XX век характеризовались заметным потеплением по сравнению с предыдущими веками. Но такие изменения климата часто происходят с разными тенденциями в различных частях планеты – в одних регионах становится заметно теплее, в других, напротив, климат становится более суровым. Спектр колебаний климата очень широкий, как и количество причин его формирующих.

Что касается будущего нашей планеты, то в генеральном плане в ближайшие 600 млн. лет средняя температура на поверхности Земли будет медленно повышаться с присущими ей колебаниями относительно этого среднего уровня. Через 600 млн. лет, после начала интенсивной дегазации кислорода мантийного происхождения, повышение давления должно привести к резкому перегреву земной поверхности. Через 1 млрд. лет в будущем средняя температура у поверхности Земли достигнет приблизительно 240 ^{0}C. После испарения океанов давление катастрофически возрастет до 320 атмосфер, а температура у Земли превысит 500 ^{0}C. При таких температурах должна начаться диссоциация карбонатов, а это может добавить к давлению атмосферы еще около 90 атм. и тем самым еще более увеличить парниковый эффект. Безусловно, после таких ката-

строфических событий ни о какой жизни на Земле больше говорить не придется.

Как видим, временной интервал для существования высокоорганизованной жизни на Земле оказывается не очень широким – немногим более 1,2 млрд. лет (600 млн. лет в прошлом и 600 млн. лет в будущем). Высокоорганизованная жизнь, особенно в царстве животных с их высокоэнергетическим кислородным метаболизмом, в принципе не могла возникнуть в середине протерозоя и тем более в архее в связи с общей восстановительной обстановкой в атмосфере того времени. Ее появление в фанерозое определяется не скоростью эволюции жизни от простого к сложному, а чисто геологической эволюцией Земли, исчезновением к этому времени металлического железа из мантии Земли, что создало условия для появления кислорода в земной атмосфере. То же можно сказать и об окончании в будущем жизни на Земле.

Таким образом, по сравнению с продолжительностью жизни Солнца, питающего все живое своей энергией, интервал существования высокоорганизованной жизни на Земле не превышает, по-видимому, 10 – 12 %.

Глава 3. ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ

3.1. Возникновение жизни на Земле

Первичная Земля, сформировавшаяся за счет аккреции исходного протопланетного вещества, должна была быть безжизненной планетой, ибо это исходное вещество было полностью стерилизовано жестким космическим излучением задолго до начала аккреции планет Солнечной системы. Образовавшаяся Земля в свой начальный период существования не имела ни атмосферы, ни гидросферы, т. е. наиболее благоприятных сред для возникновения жизни, ее обитания и защиты от разрушения. Светимость Солнца около 4,6 млрд. лет назад была на 25–30 % ниже современного уровня, и поэтому условия на молодой, лишенной атмосферы Земле тогда были исключительно суровыми: с одной стороны, ее поверхность представляла собой холодную пустыню, а с другой – подвергалась постоянному и интенсивному облучению потоками жестких космических частиц.

Неблагоприятные условия для возникновения и развития жизни на Земле продолжались до тех пор, пока не начал действовать процесс дегазации, т.е. до момента образования астеносферы у Земли и возникновения конвективных движений в ее мантии. С началом этих процессов на поверхности Земли появляется вода и другие элементоорганические соединения. Физические и химические свойства воды (высокий дипольный момент, вязкость, теплоемкость и т.д.) и углерода (способность к восстановлению и образованию линейных соединений) определили то, что они оказались основой возникновения жизни. При этом на ранних этапах дегазации большая часть продуктов дегазации впитывалась пористым реголитовым веществом Земли, и сейчас есть основания предполагать, что именно в порах первозданного вещества Земли, насыщенного водой и элементоорганическими соединениями, могла зародиться жизнь.

Связано это прежде всего с тем, что реголит и первичные вулканические пеплы молодой Земли в изобилии содержали в свободном состоянии такие переходные металлы, как хром, железо, кобальт, никель, свинец, платину и некоторые другие, обладающие наиболее активными каталитическими свойствами по отношению к синтезу органических соединений. Именно абиогенный синтез ор-

ганических соединений стал первым шагом на пути возникновения жизни на Земле. Возможность синтеза аминокислот и других низкомолекулярных органических соединений из неорганических элементов и соединений была доказана в многочисленных экспериментах с использованием разных соотношений исходных газов и видов источников энергии. Так, пропустив электрические разряды через смесь газов метана, аммиака и водяного пара, удалось получить такие низкомолекулярные органические соединений, как глицин, аланин, аспаргиновая кислота, аминомасляная, янтарная и молочная кислоты и др.

Немаловажным обстоятельством, которое способствовало возникновению жизни, было то, что только в мелких порах реголита, благодаря их большой сорбционной активности, концентрация элементоорганических соединений могла достичь уровня, необходимого для синтеза более сложных органических веществ (в морских бассейнах эти соединения оказались бы слишком разбавленными), и их дальнейшей концентрации. Концентрация же органических веществ является вторым шагом на пути возникновения жизни на Земле. В опытах с концентрированными растворами удалось синтезировать из простых молекул более сложные: белки, липиды, нуклеиновые кислоты и их производные.

Нуклеиновые кислоты – это уже шаг к образованию молекул РНК и созданию устойчивого "коллектива" макромолекул полинуклеотидов и полипептидов – элементарной эволюционирующей единицы. Для этапа до биологической эволюции в качестве элементарного объекта эволюции выделяют фракцию макромолекул полинуклеотидов или полипептидов, а в качестве элементарной эволюционирующей единицы – устойчивый "коллектив" макромолекул (связанный между собой процессами синтеза, катализа и др.).

При дальнейшем усложнении обмена веществ в таких системах должно было произойти пространственно-временное разобщение начальных и конечных продуктов реакции. Должны были образоваться мембраны. Образование мембранной структуры считается самым трудным этапом химической эволюции жизни. Хотя объединением полинуклеотидов и полипептидов в какой-то степени и была достигнута возможность самосборки системы, однако даже самая примитивная клетка не могла оформиться до возникновения

мембранной структуры. Биологические мембраны – это агрегаты липидов и белков, способные разграничивать вещество клетки и среды. В опытах показана возможность их формирования в первичном «органическом бульоне».

Накоплению органических соединений в процессе химической эволюции благоприятствовали два условия, существовавшие на этой стадии развития Земли, но нарушившиеся впоследствии. Этими двумя условиями были отсутствие в атмосфере кислорода и отсутствие живых организмов. Именно наличием живых организмов и свободного кислорода обусловлен распад органических соединений, происходящий в современном мире. Отсутствие этих факторов до возникновения жизни означало, что органические молекулы, образовавшиеся в результате спонтанных химических реакций, будут сохраняться, накапливаться и достигать наибольшей концентрации в порах первичного вещества Земли.

Поэтому логично предположить, что в течение стадии химической эволюции, на самых первых этапах образования первичного океана и атмосферы Земли, могло происходить образование и накопление в насыщенном водой и элементоорганическими соединениями пористом веществе первичной Земли органического бульона. В какой-то момент, очевидно, возникли молекулы нуклеиновых кислот, обладающие генетической активностью. Эти первые частицы живого представляли собой, вероятно, "голые гены", жившие за счет энергии, запасенной в органическом бульоне. Гены обладали способностью к размножению и мутированию. В процессе воспроизводства полинуклеотидных молекул в некоторых случаях возникали "ошибки", т.е. новая молекула не вполне точно копировала исходную. Дальше уже копировалась новая молекула, и так возникали мутации, частота которых была повышенной из-за воздействия сильных ионизирующих излучений. Размножение, как известно, продолжается до пределов, устанавливаемых физическими факторами среды. В результате между генами или их носителями рано или поздно возникает конкуренция за ресурсы среды, имеющиеся в ограниченном количестве, и в этой конкуренции некоторые виды размножаются более успешно, чем другие. Следовательно, тенденция к эволюции – один из основных атрибутов жизни в мире ограниченных ресурсов – появилась, по-видимому, одновременно с за-

рождением жизни, а возникновение жизни явилось началом процесса ее эволюции.

Таким образом, в конце абиотической эволюции, где-то около 3,9 млрд. лет назад, появились примитивные организмы – *протобионты*. Это были достаточно организованные, отграниченные от окружающей среды и тем самым обособленные системы молекул, способные к репликации и трансляционному синтезу белка. Органические строительные блоки (абиотического происхождения) они получали из первичного бульона, так что вначале им не нужны были ферменты для построения этих блоков.

3.2. Эволюция жизни в докембрии

По мере дегазации Земли и развития гидросферы примитивные формы жизни, по-видимому, переместились в воду молодых морских бассейнов раннего архея. При этом окружающий эти формы первичный бульон оказался, естественно, беднее органическими веществами по сравнению с бульоном пор первичного вещества Земли. Само развитие жизни также вело к обеднению этого бульона. В таких условиях селективным преимуществом для протобионтов стало обладание плазматической мембраной, защищающей от потери органических веществ путем диффузии, и способность избирательно их накапливать. Поглощение органических веществ вело к росту, сначала очень медленному, а затем к делению, причем выживали те продукты деления, которым доставался полный набор нуклеиновых кислот и белков. Селективному преимуществу способствовало также объединению отдельных генов в единый геном и появление специальных механизмов разделения и перетяжки. Такие образования, снабженные также все более расширяющимся набором ферментов, называют эобионтами, хотя нередко этот термин употребляют как синоним понятия *протобионт*. Самые древние остатки протобионтов, *микрофоссилии,* найдены в Гренландии в осадочных породах возрастом 3,8 млрд. лет.

С обеднением первичного бульона давление отбора стало благоприятствовать формам, способным к самостоятельному синтезу жизненно важных веществ. Главным способом получения энергии вначале, несомненно, была первичная гетеротрофия, причем у более высокоразвитых протобионтов уже имелись различные процес-

сы брожения, примеры которых мы еще находим у некоторых современных микроорганизмов. В древней атмосфере количество CO_2 все возрастало, что позволяло частично покрывать потребность в углероде за счет ассимиляции CO_2. Одновременно вырабатывались биотические пути синтеза аминокислот и других органических соединений, которых уже не стало в первичном бульоне.

На первом этапе эволюции осуществление этого процесса происходило за счет хемосинтеза, поскольку первичная гидросфера Земли была еще кислой, а фотосинтезирующие бактерии не могли возникнуть в кислой среде. Поэтому первыми автотрофами на Земле были, по-видимому, хемосинтезирующие бактерии, «потомки» которых – нитрифицирующие бактерии, железобактерии и серобактерии – дожили до наших дней. Хемосинтезирующие организмы (хемоавтотрофы) – это бактерии, которые используют в качестве источника углерода CO_2 , но энергию получают не от Солнца, а с помощью химических реакций. Энергия может выделяться при окислении водорода, сероводорода, серы, железа, аммиака, нитрита и других органических соединений. Однако в анаэробных условиях того времени основным источником получения энергии являлся нитрат.

Вторым, с точки зрения эволюции самым важным, путем получения энергии стало использование света и возникновение фотосинтезирующих одноклеточных микроорганизмов. Первыми фотосинтезирующими растениями были, по-видимому, микроскопические сине-зеленые водоросли – *цианофиты,* у которых хлорофилл в виде мелких зерен рассеян по плазме клеток (у более развитых растений он сосредоточен в специальных тельцах – хлоропластах). Эти водоросли похожи на бактерии тем, что в их клетках нет ядра, и размножаются они только делением. Продукты жизнедеятельности цианофитов найдены в известковых отложениях возрастом более 2,9 млрд. лет. Но первые страмотолиты, которые также считаются результатом деятельности первых цианобактериальных сообществ, датируются 3,5 млрд. лет. Таким образом, 3 млрд. лет назад, за 500 млн. – 1 млрд. лет эволюции, сформировались примитивные одноклеточные организмы и водоросли, названные *прокариотами*, уже отделенные от внешней среды защитными полупроницаемыми мембранами, но еще не обладающие обособленным ядром.

Прокариоты образовали первое царство живых организмов (бактерии и сине-зеленые водоросли), представители которого дожили до наших дней и играют исключительно важную роль во всех экосистемах как на поверхности Земли, так и в глубинах Мирового океана.

По-видимому, где-то около 3 млрд. лет назад появились и *вирусы*, стоящие отдельно от всех живых организмов, ибо находятся на самой границе между живыми и неживыми организмами. Не обладая клеточным строением, они способны воспроизводить себя только внутри клетки хозяина. Наиболее правдоподобной и приемлемой является гипотеза, что вирусы произошли из "беглой" нуклеиновой кислоты, которая приобрела способность реплицироваться независимо от той клетки, из которой она возникла. Таким образом, вирусы, должно быть, произошли от клеточных организмов, и их не следует рассматривать как примитивных предшественников клеточных организмов.

Вирусы в основном состоят из геномной нуклеиновой кислоты, которая и реплицируется в клетке-хозяине, используя ее системы для синтеза вирусоспецифических кислот и белков. Все вирусы имеют белковую оболочку, внутри которой и заключена нуклеиновая кислота. Очень многие болезни человека и животных вызываются вирусами (оспа, корь, свинка, грипп, респираторные заболевания, гепатит, лихорадка, полиомелит, бешенство, герпес, СПИД и др.). Вирусы не чувствительны к антибиотикам. Никто не знает, сколько существует вирусов, и почти всегда можно выделить их новые виды, исследуя новые группы организмов. Сейчас описано более 500 видов вирусов, которые объединены в отдельное царство Vira. Недавно открыты вироиды, состоящие из рибонуклеиновой кислоты, не имеющей оболочки. Они являются паразитами растений.

Способность к фотосинтезу у примитивных прокариотов была достигнута на ранних стадиях эволюции. К началу протерозоя фотосинтез был уже широко распространен, и происходило активное образование органического вещества и свободного кислорода. Однако кислород полностью поглощался за счет окисления металлического железа, которого в мантии еще сохранялось 4–6 %. При этом реакция окисления железа, по-видимому, проходила в два этапа. Вначале металлическое железо, поступавшее в океан в рифто-

вых зонах, окислялось до двухвалентного состояния за счет термической диссоциации контактировавшей с ним воды. Затем, после выноса растворимых в воде двухвалентных гидроокислов железа в открытый океан, оно окислялось до трехвалентного состояния уже тем кислородом, который вырабатывали водоросли. Нерастворимое трехвалентное железо вместе с кремнеземом накапливалось в виде гигантских залежей железных руд. Количество железа, поступившего тогда через рифтовые зоны Земли в океаны, по массе значительно превосходило возможную массу кислорода, генерировавшегося биотой раннего протерозоя.

В течении практически всего протерозоя прокариотические организмы господствовали на Земле. Следовательно, большую часть своего существования биота состояла исключительно из прокариотов – бактерий, которые, судя по геохимическим данным, мало отличались от современных.

Наиболее распространенными экосистемами были бактериально-водорослевые маты, представлявшие собой плотную пленку на донном субстрате, в которой были тесно объединены фотосинтезирующие цианобактерии и бактерии, разлагавшие органическое вещество. В процессе жизнедеятельности они осаждали карбонат кальция и образовывали хорошо сохраняющиеся известковые постройки – строматолиты, о которых мы уже говорили. Эти примитивные экосистемы могли осаждать фосфор, кремнезем, железо, марганец и т.д.

Древнейшие экосистемы, не включавшие регуляторов хищников, не могли организовывать совершенных круговоротов, и потери в них были очень велики. Несмотря на вероятно меньшую продукцию и биомассу экосистем, в архейских породах было захоронено в четыре раза больше органического углерода, чем в кайнозойских. В первую очередь благодаря деятельности прокариотических экосистем образовались древнейшие месторождения нефти, газа, железа, марганца, фосфоритов.

С окончанием первого ледникового периода, с повышением средней температуры Земли, формированием нейтральной атмосферы и появлением в ней свободного кислорода можно связывать следующий рубеж в эволюции биосферы – появление новых форм *эукариотных* одноклеточных организмов и водорослей с четко обособ-

ленным ядром и другими органами клетки. Древнейшие остатки эукариотных форм датируются возрастом 1,4 – 1,6 млрд. лет. Однако экстраполяция с учетом скорости замены аминокислот позволяет ученым изменить оценку возраста эукариот, увеличив его до 2 млрд. лет.

Таким образом, прошло около 2 млрд. лет эволюции, прежде чем возникла эукариотическая клеточная организация, при которой многочисленные генные центры были собраны в настоящие хромосомы в отграниченном от цитоплазмы клеточном ядре, и клетка стала содержать такие органеллы, как *хлоропласты* и *митохондрии*. Имеются данные, что ключевым событием в возникновении эукариот было проникновение аэробных прокариот в клетку примитивного предшественника. Позднее из этих прокариот возникли митохондрии (теория эндосимбиоза). Следует помнить, что эукариоты первоначально аэробы. Полагают, что другим важным событием было последующее внедрение в клетку фотосинтезирующих прокариот (сине-зеленых водорослей), которые затем превратились в хлоропласты. (Считается, что организмы, развитие которых пошло по такому пути эволюции, стали впоследствии растениями.) С точки зрения эволюции это был серьезный шаг вперед, имея ввиду сложность структуры и способность самостоятельно осуществлять разнообразные жизненные процессы. Группировка генов в настоящие хромосомы и заключение их в ядро у эукариотов заложило основы их полового размножения, что значительно расширило эволюционные возможности и стало предпосылкой возникновения многоклеточности и дифференциации (рис. 3.1).

Таким образом, в течение очень долгого времени эукариотические организмы жили в почти исключительно прокариотическом мире. Сейчас бактериально-водорослевые маты и строматолиты обитают только в условиях, где затруднено существование нормальных биоценозов: в лагунах, водоемах вулканов, насыщенных солями и т.д. В других местах высшие животные и растения научились препятствовать их нахождению.

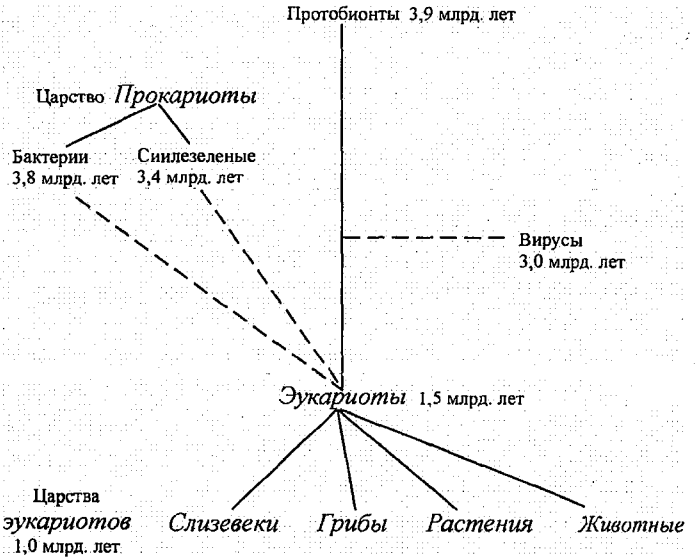


Рис. 3.1. Система классификации основных групп организмов.

Помимо отсутствия кислорода причиной того, что эукариоты и первые многоклеточные организмы не могли конкурировать с прокариотами служило также то, что прокариоты были значительно лучше приспособлены к значительно более динамичному миру. При очень высоком уровне потерь вещества и энергии за пределы круговорота и крайней неустойчивости биомассы прокариоты имели относительно высокую продуктивность. Краткость времени существования индивидуума и быстрота размножения позволяли достаточно успешно существовать в этих условиях. Наоборот, более крупные и долгоживущие, медленно развивающиеся эукариотические организмы выживали с большим трудом. Конкурировать с неустойчивостью прокариотного мира мог только достаточно сложный комплекс взаимно адаптированных высших организмов, но для его формирования необходимы были достаточно стабильные условия. Поэтому зачаточные ячейки эукариотического мира систематически погибали.

Следует упомянуть и об азоте. Все эукариотические организмы зависят от связанного азота, в то время как среди цианофитов и сопутствующих им микроорганизмов много азотфиксаторов. Поэтому

возникновение и развитие эукариот стало возможным на Земле только после того, как бактерии накопили достаточное количество связанного азота. Вместе с тем, поскольку эукариоты первоначально аэробы и зависят от кислорода, то, очевидно, что полное развитие прокариотической системы – необходимое предварительное условие появления эукариот. При этом следует иметь в виду, что при отсутствии свободного кислорода в атмосфере и в гидросфере в масштабах микробного сообщества оксигенный фотосинтез приводит к очень высокой локальной концентрации кислорода. Поэтому появление первых эукариот значительно обогнало процесс их широкой экспансии и успешной конкуренции эукариотических систем с прокариотическими. Пока в атмосфере Земли не накопилось достаточно кислорода, эукариоты просто не могли существовать вне прокариотических систем. Смена преимущественно прокариотной биоты на преимущественно эукариотную происходит в позднем протерозое.

Широкая экспансия эукариотных организмов начинается в позднем рифее (900 млн. лет назад), они отмечены во многих верхнерифейских отложениях. Большинство эукариот данного периода – это фитопланктонные организмы. Металлическое железо исчезло из мантии на рубеже протерозоя и фанерозоя. В связи с этим тогда же прекратил действовать и механизм связывания атмосферного кислорода с двухвалентной гидроокисью железа. В результате парциальное давление O_2 стало быстро повышаться и где-то около 600 – 800 млн. лет назад содержание свободного кислорода достигло уровня 1 % от современного (точка Пастера). И это был новый этап в эволюции жизни. С этого момента организмы оказались способными перейти на использование энергии процессов окисления при дыхании, которые, как уже указывалось, в 30–50 раз более эффективны по сравнению с процессами ферментативного (анаэробного) брожения. В процессе аэробного дыхания, обеспечивающего более полный распад углеродных соединений, освобождается гораздо больше энергии, и организмы могут функционировать при гораздо более высокой скорости метаболизма, чем организмы, получающие энергию за счет брожения.

Резкий геохимический рубеж в геологической истории Земли самым радикальным образом изменил экологическую обстановку на ее поверхности – с этого времени земная атмосфера из восстано-

вительной превратилась в окислительную. В новой ситуации наиболее эффективными оказались те формы жизни, обмен веществ которых был построен на реакциях обратного окисления органических веществ, синтезируемых царством растений. И именно в этот период, в конце протерозоя, появились первые одноклеточные, а затем и многоклеточные организмы, которые использовали кислород для дыхания.

Дальнейшее повышение парциального давления кислорода в земной атмосфере (и растворенного в гидросфере) стимулировало быструю эволюцию этих животных форм и в начале палеозоя привело к возникновению скелетных и бесскелетных животных, давших в последующие эпохи столь широкое разнообразие жизни.

3.3. Эволюция жизни в фанерозое

Эволюцию жизни в фанерозое удалось воссоздать достаточно полно на основе палеонтологических данных. И нет сомнений в естественности этого процесса. На рис. 3.2 приведено распространение типов организмов в различные периоды фанерозоя.

Термин ***"фанерозой"*** произошел от слов *фанерос* – явный и *зоэ* – жизнь. Таким образом, фанерозой – это период явной жизни. Он был расчленен на три эры: древней жизни (палеозой) длительностью 340 млн. лет, средней жизни (мезозой) длительностью 164 млн. лет и новой жизни (кайнозой) –последние 66 млн. лет. С биологической точки зрения палеозой может быть кратко охарактеризован как эра господства морских беспозвоночных, рыб и земноводных; мезозой – эра господства пресмыкающихся и, наконец, кайнозой – эра господства млекопитающих.

Рассмотрим вначале, как эволюционировали растения. Как уже было отмечено, первые водоросли появились еще в архее и с тех пор существуют преимущественно в виде одноклеточных форм. Доля водорослей в общей массе живых организмов на Земле в настоящее время менее 0,1 % (около 1,7 млрд. т из общей суммы в 2–3 триллиона т). Но они чрезвычайно быстро размножаются, и их продукция составляет около 550 млрд. т, что составляет основную долю продукции биомассы на Земле.

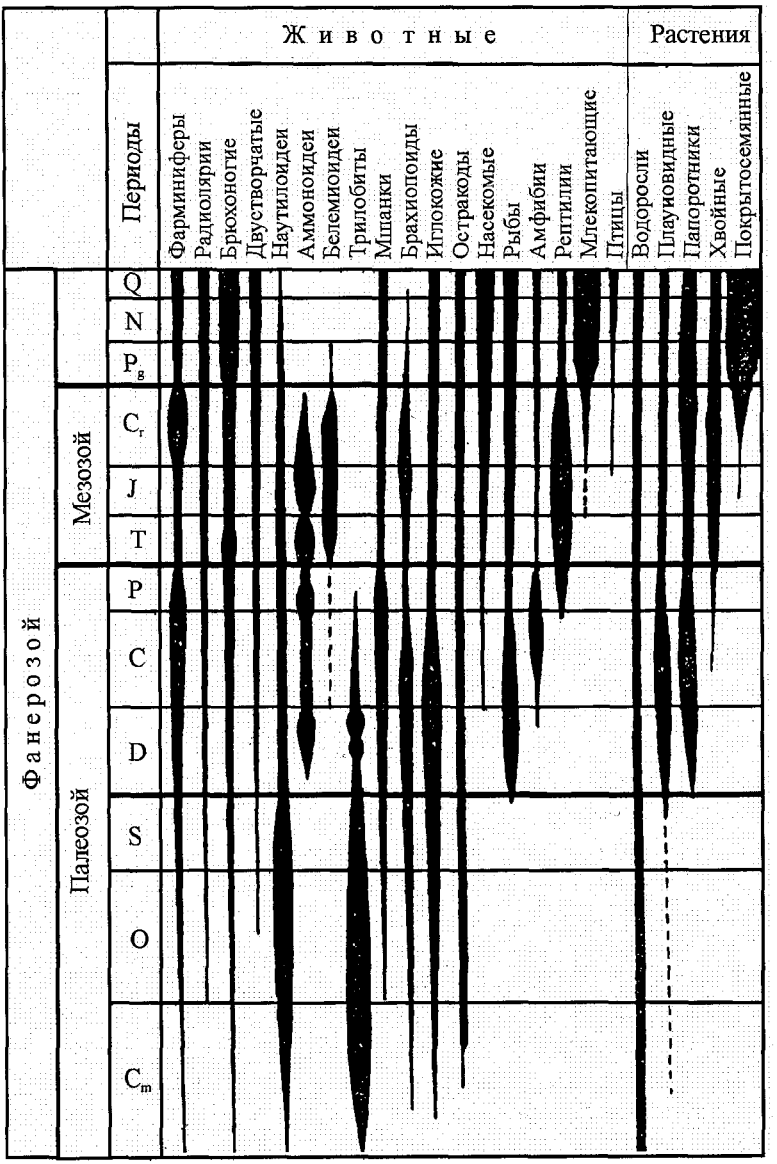


Рис. 3.2. Распространение типов организмов в различные периоды фанерозоя (по А.С. Монину, 1977).

Если принять, что биомасса фитопланктона определяется прежде всего количеством растворенных в его водах соединений фосфора и учесть, что концентрация фосфора в океанических водах всегда оставалась равной по отношению к базальтам океанской коры и близкой к современной, то есть основание полагать, что масса океанического фитопланктона уже в конце протерозоя была близкой к современной.

Первые наземные растения появились, вероятно, в ордовике, но достоверные их следы найдены лишь в силуре. Это были самые примитивные из высших растений типа сосудистых – *псилофиты*, мелкие растения без корней и листьев, занимавшие промежуточное положение между наземными растениями и водорослями, а также первые *плауны*.

Вряд ли наземные растения сразу вышли на лишенную почвы сушу. Скорее всего предварительно бактерии и наземные водоросли успели подготовить соответствующий субстрат. Что подтолкнуло растения к выходу на сушу? Полагают, что причиной этого могло быть углеродное голодание. Дело в том, что поглощают растения не только CO_2, но и CO. При этом им требуется в два с лишним раза меньше световой энергии на 1 г/моль для образования формальдегида. Растворимость CO в воде по сравнению с CO_2 очень низкая. Сокращение содержания CO в атмосфере и еще больше в воде создавало условия углеродного голодания для водных растений и могло быть стимулом для подъема осевой стеблевидной части над водой. Исчерпание CO в атмосфере заставило позже перейти на использование только CO_2. Подъем стеблевидной части растений над водой служил причиной развития корневой системы как органа опоры и извлечения из донных осадков других необходимых элементов питания. Развитие корневой системы и периодические колебания уровня сделали растения способными выйти на сушу.

В девоне появились представители двух новых подтипов сосудистых растений – *клинолистных* (хвощей) и *папоротникообразных*, имевших уже корневую систему. Крупные древовидные формы плаунов, хвощей и папоротников образовали первые леса нашей планеты. В карбоне обширные участки суши покрыли огромные заболоченные леса из гигантских плаунов *лепидодендронов* и *сигиллярий*, хвощей *каламитов*, древовидных папоротников и *птеридосперм*, а также но-

вых отрядов вечнозеленых голосемянных *кордаитов* (рис. 3.3). В конце карбона появились первые хвойные растения и гинкго. В перми появились *бенеттиты*, плауны пришли в упадок.

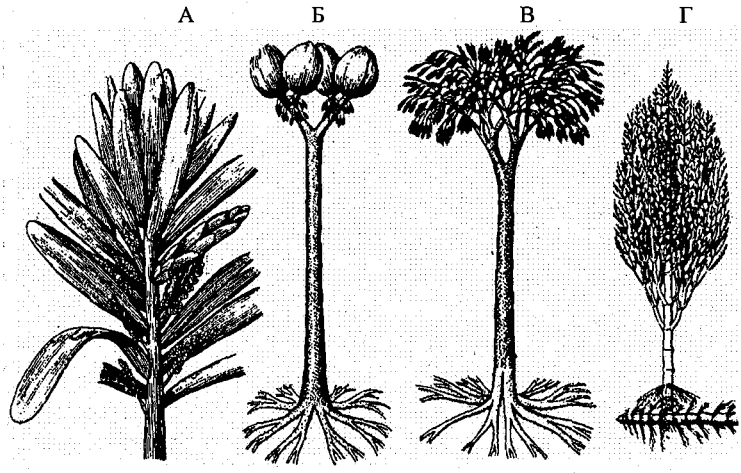


Рис. 3.3. Некоторые ископаемые растения карбона: А – *кордаит*; Б – *сигиллярия*; В – *лепидодендрон*; Г – *каламит* (по А.В. Яблокову, А.Г. Юсуфову, 1998).

Триас и юра – время расцвета голосемянных растений отрядов бенеттитов, хвойных, гинкго и *цикадовых* (саговников); птеридоспермы (семенные папоротники) и кордаиты вымерли. В нижней половине мела, а возможно даже в юре, появились первые *покрытосемянные* (цветковые) растения, сначала *двудольные*. Во второй половине мела появились также однодольные цветковые растения, а двудольные образовали уже леса (кленовые и дубовые). Они вытеснили отряд голосемянных: бенеттиты вымерли, цикадовые и гинкго пришли в упадок. Наступивший затем кайнозой – это эра расцвета цветковых растений. В настоящее время цветковые и хвойные составляют 98–99 % от 2 – 3 триллионов т биомассы на Земле, но растут они медленно – их годичная продукция составляет всего около 50 млрд. т (в 10 раз меньше продукции водорослей в океане).

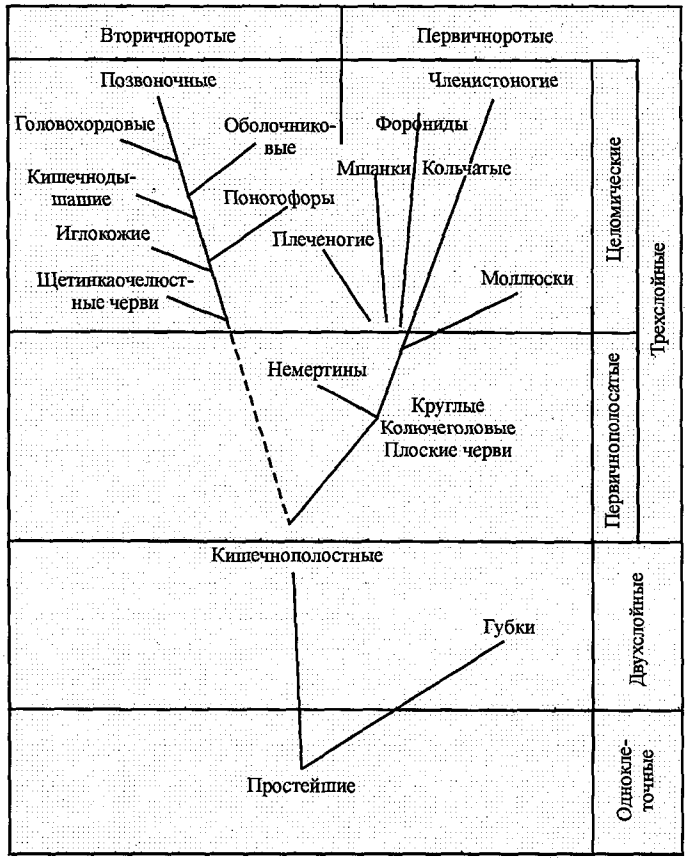


Рис. 3.4. Происхождение основных типов животных (по А.С. Монину, 1977).

Перейдя к эволюции животных, отметим, что сведения палеонтологии о времени появления, расцвета и вымирания тех или иных групп животных вместе с данными о степени сложности их устройства, способах размножения и особенностях развития их зародышей позволяют судить о происхождении этих групп. Современные представления о происхождении основных типов животных (базирующиеся на принципе *монофилии*, т. е. на предположении о наличии единого корня происхождения каждой группы организмов) показаны на рис. 3.4. Согласно этим представлениям, одноклеточные *простейшие* животные породили как тупиковую ветвь губок, так и про-

грессивную ветвь *кишечнополостных*, от которой пошли два главных ствола – *первичноротые* и *вторичноротые*. На первом из этих стволов промежуточным этапом были *низшие черви*, от которых пошли ветви *немертин*, *плеченогих*, *мшанок*, *форонид*, *моллюсков* и через кольчатых *червей*, *наконец, членистоногие*. От другого ствола поочередно отделялись ветви *щетинкочелюстных червей*, *иглокожих*, *погонофор*, *кишечнодышащих*, *оболочниковых*, *головохордовых* и, наконец, *позвоночных*.

Отдельные виды животных, по крайней мере, простейшие, кишечно-полостные и некоторые низшие черви – появились в небольших популяциях еще в среднем протерозое. В качестве примера фанерозойской эволюции простейших на рис. 3.5 приведен график числа семейств *фораминифер*, появившихся в самом начале кембрия. Число семейств – одна из возможных количественных характеристик разнообразия форм данного типа организмов, свидетельствующая о темпах его эволюции. В периоды быстрой эволюции разнообразие форм возрастает. На графике видно, что для фораминифер темпы эволюции были наибольшие в ордовике, силуре и карбоне, но особенно – в юре и мелу. Вторая половина перми характеризовалась спадом, а последующий период – триас – застоем в эволюции. Во второй половине палеогена и неогена также наметился спад и застой в эволюции фораминифер.

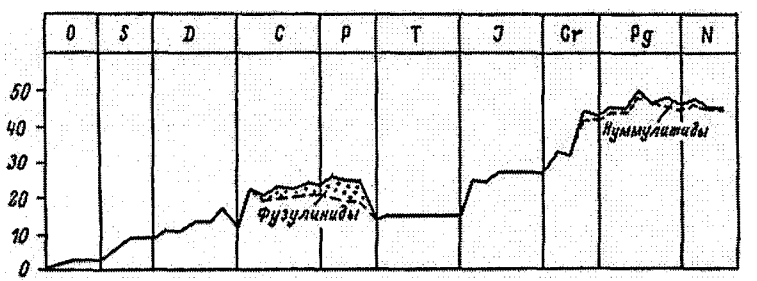


Рис. 3.5. Изменение числа семейств *фораминифер* в фанерозое (по Г.П. Леонову, 1973).

В кембрии сформировался подтип наиболее ранних и примитивных членистоногих – *трилобитов* (рис. 3.6). В кембрии и ордовике они буквально кишели на дне прибрежной зоны морей и океанов. В силуре их количество начало убывать, и к концу палеозоя

они вымерли. В кембрии уже существовали и представители подтипа *жабродышащих* (класса *ракообразных*). Тогда же появились и первые членистоногие подтипа *хелицеровых* (т.е. клешнеусых) – огромные хищные *ракоскорпионы эвриптериды*, или *гигантостраки*, достигавшие в длину иногда 2 м, – самые крупные из членистоногих, когда-либо живших на нашей планете. Они просуществовали почти весь палеозой. В силуре от них произошли первые сухопутные, дышащие воздухом, животные, похожие на современных скорпионов, у которых брюшные жаберные ножки эврептерид превратились в легкие. Но такой орган воздушного дыхания оказался для членистоногих неоптимальным. В девоне от кольчатых червей произошли сухопутные членистоногие подтипа *трахейнодышащих*, в том числе класса насекомых, которые быстро завоевали сушу и настолько преуспели, что уже в карбоне появились крылатые насекомые, включая гигантских стрекоз *палеодиктиоптер* с размахом крыльев до 90 см. Членистоногие в наши дни представляют собой самый динамичный, т.е. богатый формами, тип животных. Из описанных учеными 1,5 млн. видов животных более 1 млн. приходится на членистоногих (из них более 90 % – на насекомых). Они составляют немалую долю и от массы животных на Земле. Например, суммарная масса океанического зоопланктона, состоящая преимущественно из ракообразных, равняется 21,5 млрд. т, или около двух третей всей биомассы Мирового океана.

Первые представители позвоночных животных появились в ордовике. Это так называемые панцирные рыбы – небольшие рыбообразные донные животные без челюстей и плавников, покрытые панцирем из костных пластинок на голове и толстых чешуй на туловище (рис. 3.6). Они еще не были настоящими рыбами. Из современных позвоночных к ним ближе всего *бесчерепные* (*ланцетники*) и *бесчелюстные – круглоротые* (миноги и *миксины*) (рис. 3.7). В силуре появились, а в девоне получили широкое распространение уже настоящие рыбы, как *хрящевые* (сначала *панцирные*, а затем и *беспанцирные акулы*, благоденствующие с тех пор по настоящее время), так и костные, которые в среднем девоне поделились на лопастеперых (*двоякодышащих* и *кистеперых*) и *лучеперых*, сначала *ганоидных*, особенно процветавших в перми и триасе, а с юры – и *костистых*, имеющих абсолютное господство среди рыб в настоящее время.

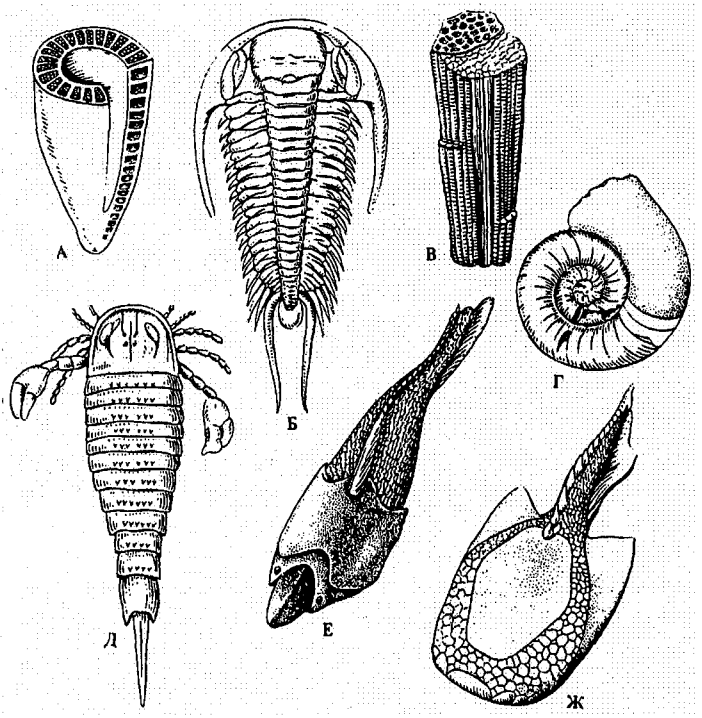


Рис. 3.6. Фауна кембрия, ордовика и силура
(по А.В. Яблокову, А.Г. Юсуфову, 1998).
А – скелет *археоциат;* Б – *трилобит*; В – скелет коралла; Г – раковина *головоногого моллюска*; Д– ракоскорпион; Е ,Ж – древнейшие позвоночные – бесчелюстные.

Девон был временем первых попыток рыб выбраться на сушу (рис.3.8). Двоякодышащие рыбы в этом не преуспели, а от кистеперых пошли земноводные животные – *амфибии*, которые осваивали сушу одновременно с насекомыми. Этих древних амфибий называют *стегоцефалами*, т.е. панцирноголовыми, так как их голова была покрыта защитными костными пластинками. Большинство их вымерло в перми, а оставшиеся – в триасе. В юре сформировались современные *бесхвостые амфибии* (лягушки и т.п.), в мелу – хвостатые (*тритоны* и *саламандры*) и уже в кайнозое – безногие (*червяги*).

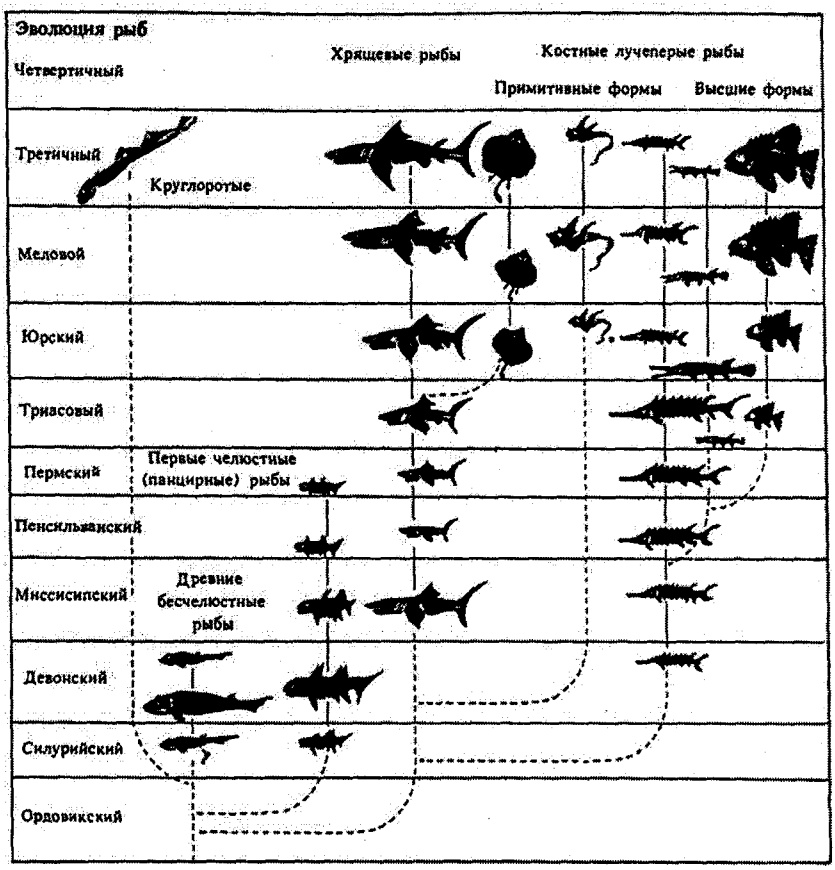


Рис. 3.7. Эволюция рыб (по А. Джонсону, 1994).

Первые настоящие наземные позвоночные – это пресмыкающиеся (*рептилии*), у которых размножение и развитие происходят на суше. История рептилий перми и мезозоя, этих 200 млн. лет господства чудовищ на нашей планете, является, вероятно, самой драматической главой истории жизни на Земле до появления человека (рис. 3.9).Первые рептилии появились в верхнем карбоне. Это были представители подкласса *анапсид*, имеющих цельный черепной панцирь, – небольшие (до полуметра длиной), очень похожие на стегоцефалов, *сеймурии* и более крупные *котилозавры*. Сеймурии существо-

вали только в течение перми, а котилозавры – до конца триаса. От котилозавров еще в перми произошли черепахи. В конце карбона от котилозавров пошли рептилии подкласса *синапсид* с черепным панцирем, сократившимся путем образования одной височной ямы, ограниченной снизу скуловой дугой, что усилило челюсти. В конце карбона и ранней перми это были стройные звероподобные хищники *пеликозавры*, со средней перми – зверообразные *тероморфы*, вымершие в начале мезозоя.

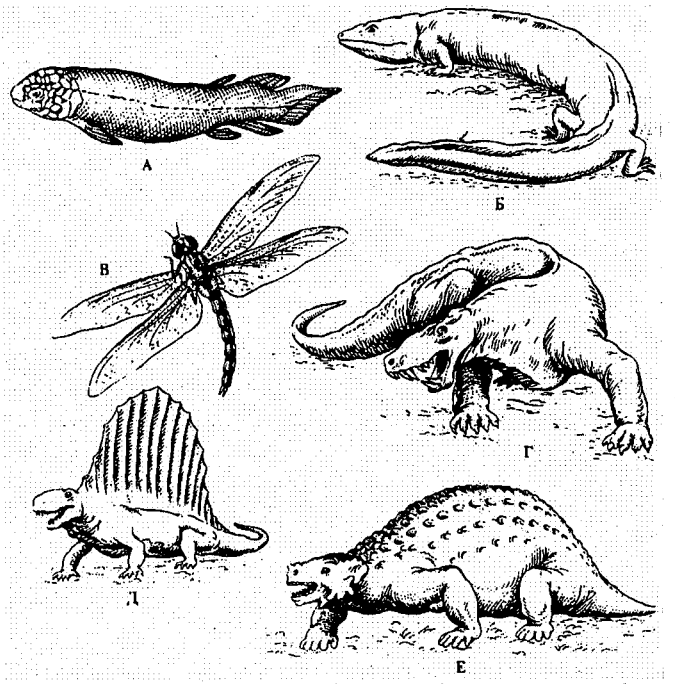


Рис. 3.8. Фауна девона, кембрия, перми (по А.В. Яблокову, А.Г. Юсуфову, 1998). А – двоякодышащая рыба; Б – *стегоцефал*; В – стрекозоподобное насекомое; Г, Д, Е – древнейшие пресмыкающиеся.

В их числе был и крупнейший верхнепермский хищник – трехметровая саблезубая *иностранцевия*. Также, по-видимому, от котилозавров пошли водные рептилии: во-первых, подкласса *синаптозавров*, еще сохранивших в какой-то мере облик наземных животных (в том числе длинношеие ластоногие *плезиозавры* (рис. 3.10), длиной от по-

луметра до 15 м, существовавшие с позднего триаса до конца мела), и, во-вторых, подкласса *ихтиоптеригий* (сначала небольшие *мезозавры*, а со среднего триаса – огромные рыбообразные *ихтиозавры*, достигавшие в длину до 18 м, которые вымерли в конце мела).

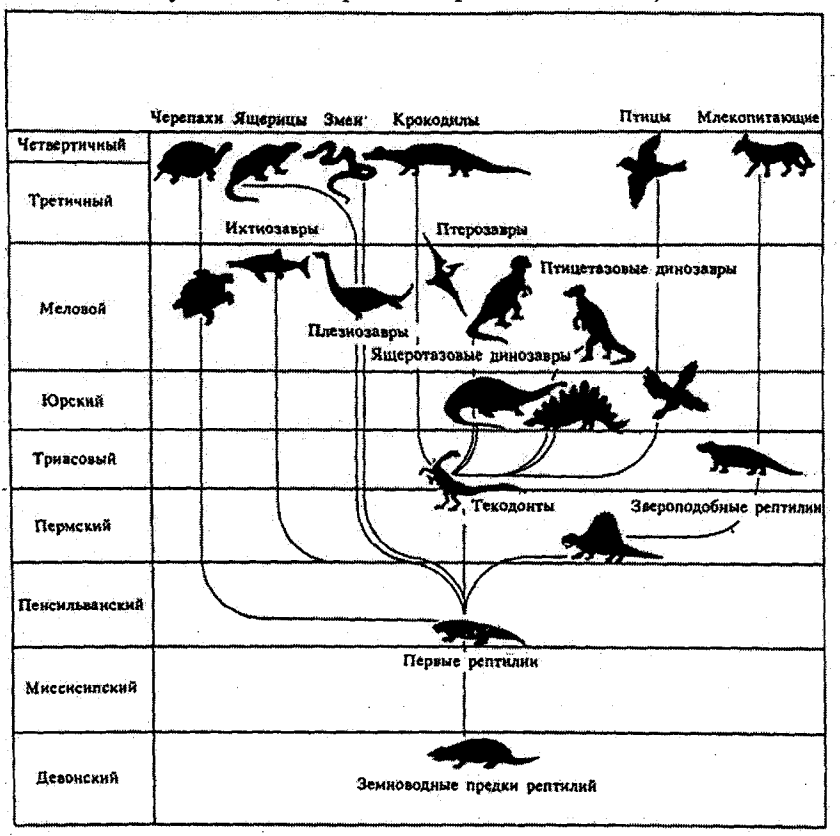


Рис. 3.9. Эволюция рептилий (по А. Джонсону, 1994).

Особенно многообразными были растительноядные птицетазовые динозавры, в том числе, например, передвигавшиеся на трехпалых задних лапах *игуанодоны* высотой до 5–9 м, четвероногие *стегозавры* 10-метровой длины с двойным гребнем метровых треугольных костных пластин на спине. В числе ящеротазовых были как растительноядные четвероногие, достигавшие колоссальных размеров (*бронтозавры* длиной до 20 м и массой, вероятно, до 30 т

диплодоки длиной свыше 25 м и самые огромные из всех сухопутных животных, когда-либо проживавших на Земле, – *брахиозавры* длиной около 24 м и массой, должно быть, порядка 50 т), так и хищники, которые передвигались на задних лапах, опираясь на хвост (как ныне кенгуру), причем некоторые из них достигали огромных размеров, как, например, 15-метровый *тираннозавр рекс*, крупнейший из наземных хищников за всю историю жизни на Земле.

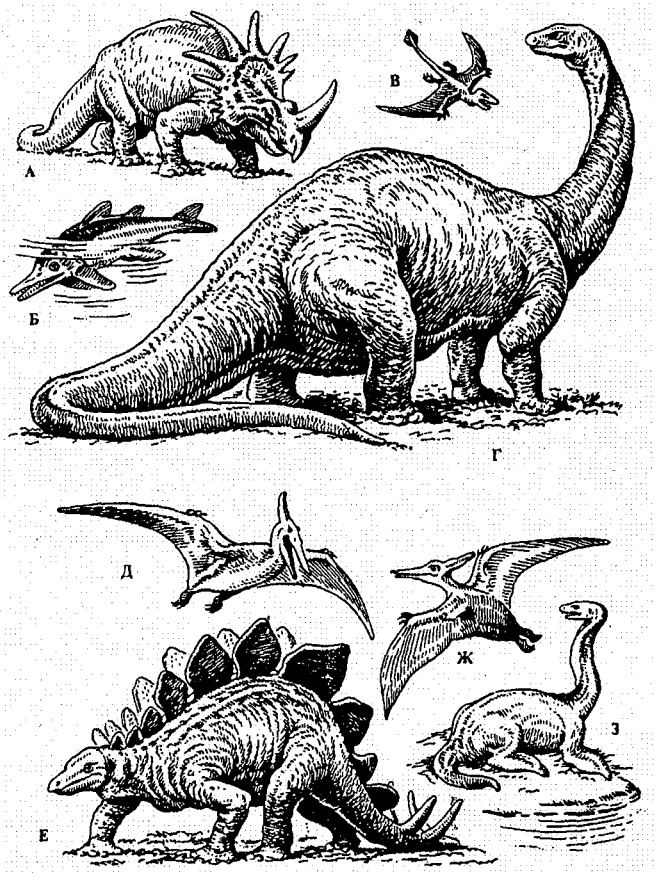


Рис. 3.10. Некоторые пресмыкающиеся мезозоя
(по А.В. Яблокову, А.Г. Юсуфову, 1998).
А – рогатый *динозавр*; Б –*ихтиозавр*; В – летающий хвостатый *ящер*; Г – *бронтозавр*; Д, Ж – летающие бесхвостые *ящеры*; Е – *стегозавр*; З – *плезиозавр*.

Заметим, что самый крупный морской хищник жил в плиоцене (в конце третичного периода). Это была акула *мегалодона* (30 м в длину), предшественница современной белой акулы – *кархародоны,* достигающей длины 11 м. Хотя китовая акула и достигает больших размеров (до 20 м), она, в отличие от других акул, не является хищником. Самое же крупное за всю историю жизни на Земле животное является нашим современником – это синий кит 33 м в длину и массой около 150 т.

Вернувшись к рептилиям, следует заметить, что почти все это царство многочисленных чудовищ полностью вымерло в конце мелового периода. Правда, среди сохранившихся современных рептилий тоже имеются большие и опасные хищники, такие, как 6-метровые крокодилы, огромные ядовитые змеи – *королевские кобры* Юго-Восточной Азии (длиной до 5,5 м), африканские черные *мамбы* (длиной более 4 м), амазонские *анаконды* (до 6 м длиной) и, наконец, *драконы острова Комодо* – гигантские вараны длиной более 3 м, охотящиеся на оленей. Но все они не идут ни в какое сравнение с чудовищами, господствовавшими на Земле в мезозойскую эру.

От мелких динозавров, живших на деревьях, в конце юры произошли первоптицы – *археоптериксы* и *археорнисы*, которые были размером с ворону, имели зубастые челюсти, слабые крылья с когтями на концах пальцев и длинные хвосты с многочисленными позвонками, покрытые перьями. В породах мела найдены останки новых зубастых птиц – водяного *гесперорниса* и летающего *ихтиорниса.* В конце мела появились первые беззубые птицы. Современный облик они приняли лишь в начале кайнозоя. Сейчас птицы играют очень большую роль в жизни нашей планеты – число особей этого класса оценивается в сотню миллиардов.

Млекопитающие имеют значительно более древнее происхождение, чем птицы. Они возникли в триасе от палеозойских рептилий – каких-то мелких разновидностей тероморф отряда зверозубых. Такими первыми млекопитающими были просуществовавшие весь мезозой *многобугорчатые* – растительноядные зверьки размером с крысу, имевшие зубы с многочисленными бугорками и сильно развитые резцы, но без клыков. От их ранних форм отошла ветвь *однопроходных* яйцекладущих млекопитающих (единственными их представителями сегодня являются утконосы и ехидны Австралии,

Тасмании и Новой Гвинеи), а в средней юре от них пошли многообразные *трехбугорчатые* – мелкие зверьки, питавшиеся частью растительной, частью животной пищей. От последних в мелу пошли и *сумчатые,* и *плацентарные.*

Первые сумчатые появились на материках северного полушария. Это были мелкие крысоподобные зверьки типа современных североамериканских опоссумов, имевшие бугорчато-режущие коренные зубы и крупные клыки. Затем они были вытеснены плацентарными в южное полушарие и дали толчок к развитию многочисленных видов сумчатых животных только в Австралии, куда из плацентарных проникли лишь летучие мыши и мелкие грызуны.

Первыми плацентарными были насекомоядные верхнего мела, от которых произошли хищники креодонты, которые и породили всю массу млекопитающих современных форм. Всего плацентарные млекопитающие образовали 31 отряд, из которых 14 вымерло, а 17 существуют и в настоящее время.

Общая картина эволюции жизни на Земле представлена в табл. 3.1

Таблица 3.1

Общая геохронологическая схема

Эон	Эра	Период		Эпоха	Изотопные датировки, млн. лет	Характерные формы жизни
1	2	3		4	5	6
Фанерозой	Кайнозой, Kz	Четвертичный Q		Голоцен	0,01	Развитие рода *Homo*
				Плейстоцен	1,8±0,2	
		Третичный, Tr	Неоген, N	Плиоцен	9±1	Возникновение современных семейств млекопитающих, формирование современной флоры
				Миоцен	25±2	
			Палеоген, Pg	Олигоцен	37±3	Расцвет млекопитающих и птиц
				Эоцен	58±3	
				Палеоцен	67±3	

Продолжение табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
	Мезозой, Mz	Мел, Cr		137±5	Развитие цветковых растений, расцвет насекомых, вымирание многих рептилий
		Юра, J		195±5	Господство рептилий на суше, в воде и воздухе. Возникновение птиц и покрытосеменных растений
		Триас, T		230±10	Расцвет рептилий, распространение голосеменных растений, появление млекопитающих
	Палеозой, Pz	Пермь, P		285±10	Появление голосеменных растений, распространение рептилий
		*Карбон, C		350±10	Распространение лесов, расцвет амфибий, появление летающих насекомых, возникновение рептилий
		Девон, D		405±10	Господство рыб, возникновение насекомых и амфибий, появление лесов из папоротников и плаунов
		Силур, S		440±10	Выход растений и беспозвоночных на сушу
		Ордовик ,O		495±15	Появление первых позвоночных – бесчелюстных
		Кембрий, Cm		570±20	Развитие беспозвоночных, появление высших растений

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
Криптозой или Докембрий	**Протерозой, Pt Архей, A	Верхний, Pt_3		1700±50	Появление кишечнополостных, членистоногих, иглокожих
		Средний, Pt_2		1900±50	Появление эукариот, многоклеточных растений и животных. Развитие низших растений
		Нижний, Pt_1		2600±100	
		Верхний, A_2		3000±100	Зарождение жизни, появление прокариот. Господство бактерий и синезеленых водорослей. Появление зеленых водорослей
		Нижний, A_1		4000±100	
	Катархей, КА			4600	Отсутствие жизни

* В американской литературе Карбон делят на два периода: Пенсильвания (325±10) и Миссисипи (350±10).

** Верхний Протерозой иногда называют Рифей и выделяют в нем Венд (675±25). Средний и Нижний Протерозой иногда называют Афебием.

3.4. Темпы эволюции жизни

Рассмотрев эволюцию жизни на Земле, отметим, что монотонного нарастания разнообразия форм не происходило. За первый миллиард лет эволюции жизни сформировались только примитивные одноклеточные организмы и водоросли – прокариоты. И дело тут не в том, что сама по себе скорость эволюции жизни в начальный период существования Земли была мала, а в том, что условия, в которых тогда существовала эта жизнь, не позволяли увеличить скорость эволюции. Как только в процессе эволюции самой планеты образовался единый океан, перекрывший срединно-океанические хребты, началась гидратация океанической коры и резкое усиление поглощения CO_2 и образование карбонатов, изменилась атмосфера и изменились условия в океане. Формирование ней-

тральной атмосферы и появление в ней свободного кислорода привело к важному рубежу в эволюции жизни – появлению новых форм эукариотных одноклеточных организмов и водорослей. Таким образом, потребовался еще 1 млрд. лет, прежде чем возникла эукариотическая клеточная организация.

Только на рубеже протерозоя и фанерозоя, когда металлическое железо исчезло из мантии Земли и прекратил действовать механизм связывания атмосферного кислорода с железом, содержание кислорода в атмосфере возросло и атмосфера из восстановительной превратилась в окислительную. Возможность перехода организмов на использование энергии процессов окисления при дыхании, в десятки раз более эффективные, столь же резко позволила увеличить и скорость эволюции жизни на Земле. Появились многоклеточные животные, которые уже всего за 600 млн. лет дали столь широкое разнообразие жизни, которое мы наблюдаем сегодня. Однако и в фанерозое эволюция жизни не была монотонной (рис. 3.11). Так, в кембрии и ордовике образовалось 42 новых класса животных, притом что только 6 классов отмерли. В силуре произошло резкое снижение образования новых классов (всего 3 при двух отмерших). В девоне и карбоне появилось 14 новых классов животных, но 8 отмерло. В перми новых классов вообще не появилось, в триасе – всего один, а за этот же период 7 классов отмерли. В триасе число классов достигло минимума фанерозоя, если не считать кембрия. В юре и мелу наблюдался небольшой прирост, но в палеогене и неогене рост числа классов прекратился, а в четвертичном периоде произошло даже сокращение числа классов. Такой характер изменения темпов эволюции находит подтверждение и на графике изменения числа семейств беспозвоночных животных (см. рис. 3.11, *в*, *г*). Аналогичные данные и по классам растений, с той лишь разницей, что отмирания классов здесь почти не происходило. В триасе, неогене и четвертичном периоде ни одного нового класса растений не появилось.

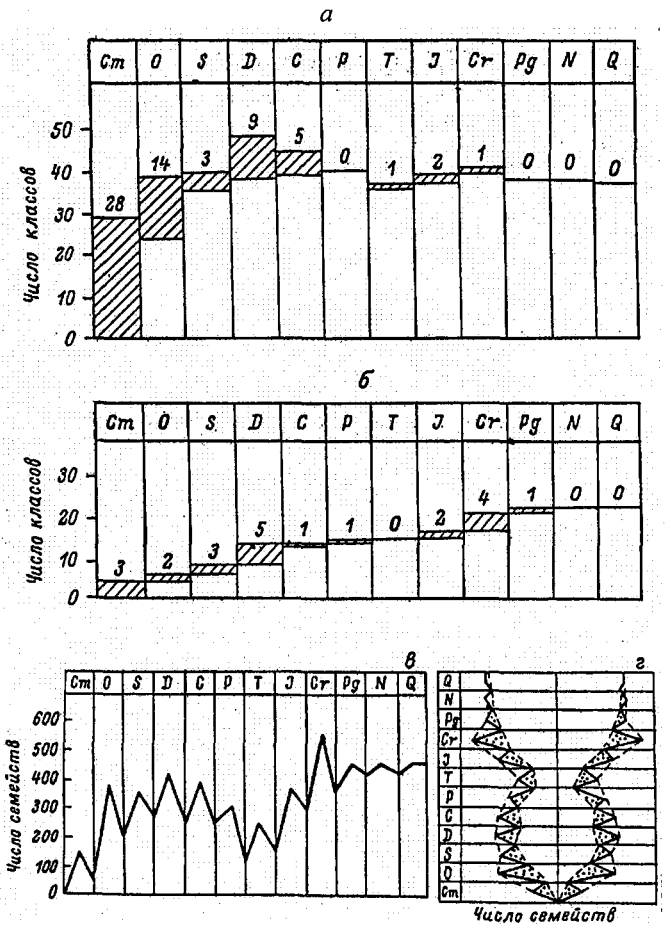


Рис. 3.11. Эволюция живой природы в фанерозое. (по А.С. Монину, 1977)
а и б – число классов соответственно животных и растений в различные периоды фанерозоя (заштрихованные части колонки и цифры над ними – число новых классов, появившихся за данный геологический период);
в и г – число семейств беспозвоночных животных.

Наиболее подробные и обоснованные данные получены по морской фауне. Установлено, что вымирания периодически повторялись примерно через 37 млн. лет в палеозое и 26 млн. лет в мезозое и кайнозое. Наиболее сильным было снижение многообразия на

границе палеозоя и мезозоя, т.е. в конце пермского – начале триасового периодов, примерно 250 млн. лет назад. Затем идут кризисы в конце силура – начале девона, около 400 млн. лет назад, и в позднем мелу на границе мезозоя и кайнозоя.

Изучение эволюции разнообразия континентальных и морских водоемов показало совпадение их основных закономерностей. Снижение разнообразия и в океане, и в континентальных водоемах не имело характера массовых вымираний в ответ на резкое однократное внешнее воздействие. Их растянутый характер, несовпадение начальных стадий в море и континентальных водоемах свидетельствуют, скорее, о земных причинах вымираний. Последние работы Палеонтологического института РАН показали, что для наземных животных, как и для пресноводных, основные закономерности эволюции разнообразия достаточно хорошо совпадают с таковыми для морских фаун. Вымирания в море и на суше происходили в основном синхронно, но вымирания на суше растянуты во времени и менее глубоки, чем в море. Замечено также, что в периоды кризисов снижение разнообразия было связано не столько с усилением вымирания прежних компонентов экосистем, сколько с отставанием от него появления новых. Падение разнообразия обычно сопровождается снижением устойчивости биогеохимических круговоротов и распространением быстро развивающихся форм, достаточно легко переносящих значительные колебания плотности популяций. Почти всегда во время кризисов более всего страдают фитопланктон и наиболее крупные организмы, среди которых большинство относится к долгоживущим крупным формам, играющим в экосистемах роль конечных регуляторов. Кризисы могут начинаться с сокращения продуцентов, достаточно сильного, чтобы экосистема была вынуждена редуцировать верхние трофические уровни, выполняющие регуляторную функцию. После этого система идет вразнос. В морских экосистемах падение разнообразия достаточно резкое и глубокое, восстановление занимает больше времени, чем сам кризис. Так, после пермско-триасового кризиса существовавшее до него разнообразие восстановилось только через два (триасовый и юрский) периода к меловому времени, т.е. через 100 млн. лет.

Совпадение во времени основных "событий" в море, пресных водах и на суше доказывает существование некоего общепланетарного механизма, вызывающего или синхронизирующего вымирания.

По-разному объясняют ученые причины изменений в скорости эволюции, периоды резкого вымирания многих семейств и даже классов животных в фанерозое. Но, безусловно, одно – эволюция жизни в фанерозое, как и в предыдущие эпохи, тесно связана с жизнью Земли как планеты, т. е. с глобальной тектоникой нашей планеты в широком понимании этого слова. На рис. 3.12 приведены тектономагматические эпохи фанерозоя. Здесь для нас наиболее интересны эпохи трансгрессий и регрессий (геократические эпохи) океана. Анализ рис. 3.5 , 3.11 и 3.12 свидетельствует о том, что все периоды ускорения эволюции, образования новых форм связаны с эпохами трансгрессий океана и, наоборот, замедление эволюционного процесса и периоды отмирания классов и семейств животных приходятся на геократические эпохи в жизни нашей планеты.

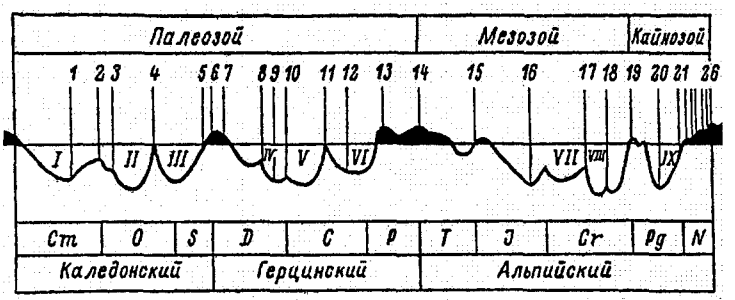


Рис. 3.12. Тектономагматические эпохи фанерозоя (по А.С. Монину), Латинские цифры – фазы орогенеза, римские цифры – трансгрессии, зачернены геократические эпохи.

Так, на границу протерозоя и фанерозоя приходится первый крупный пик отмирания животных (отмерло более 50 семейств). По существу в этот период произошла замена морфологически простого, преимущественно прокариотного планктона докембрия морфологически более сложным эукаритным фитопланктоном фанерозоя.

На границе силура и девона исчезло большинство форм *граптолитов, трилобитов, цистоидей, наутилоидей.* На границе перми и триаса резко сократилась палеозойская флора плаунов, хвощей,

семенных папоротников, окончательно вымерли трилобиты, цистоидеи, древние *морские ежи*, многие виды *брахиопод*, гигантостраки, *гониатиты*, сцегоцефалы и многие другие формы (около 50 семейств). В целом граница между палеозоем и мезозоем характеризуется самым сильным в истории Земли падением разнообразия морской биоты, носившим кризисный характер. Число семейств морских организмов уменьшилось более чем вдвое. Наконец, на границе мела и палеогена исчезли *аммониты, белемниты*, многие *брюхоногие моллюски* и почти все представители пресмыкающихся, зубастые птицы и др. (более 20 семейств). Вымерла одна шестая часть семейств морских организмов. Заметное замедление эволюционного процесса и отмирание ряда форм животного мира произошло и в кайнозое.

Как изменения уровня океана могут быть связаны с таким характером изменения скорости эволюционного процесса? По-видимому, прежде всего из-за изменения климата. Вследствие того, что теплоемкость воды намного больше теплоемкости суши, увеличение площади морской поверхности за счет суши смягчает сезонные и широтные изменения климата. При затоплении 40 % и более площади поверхности континентов смягчающее воздействие трансгрессий на глобальные вариации климата в умеренных и высоких широтах должно быть достаточно велико. При этом необходимо учитывать, что расширение эпиконтинентальных морей создавало новые морские коридоры, по которым мог происходить теплообмен между низкими и высокими широтами.

В период регрессии, по мере отступления моря, возрастает общая континентальность климата Земли, происходит увеличение сезонных контрастов, а также похолодание в умеренных и высоких широтах. Глобальные же трансгрессии и регрессии Мирового океана, как мы помним, зависят от скорости движения литосферных плит, т.е. от скорости спрединга.

На широтную зональность климата существенно влияет также пространственное расположение материков и океанов. Крупные области суши, попадая по мере перемещения ансамбля литосферных плит в полярные регионы, начинают постепенно покрываться сначала горными ледниками, а затем (из-за большого альбедо льда и постепенного охлаждения всей полярной области) и покровным

оледенением. Следовательно, наиболее резкая широтная зональность на Земле наблюдалась тогда, когда при прочих равных условиях в полярных областях располагались крупные массивы суши. Уменьшение площади поверхности суши в полярных областях, в том числе и в результате трансгрессии океана, и тем более полное отсутствие крупных материковых фрагментов у полюсов Земли, приводит к значительному сглаживанию широтной зональности и к глобальному потеплению климата Земли.

Вот как объясняют зависимость развития жизни в фанерозое от тектоники литосферных плит авторы теории глобальной эволюции Земли О.Г. Сорохтин и С.А. Ушаков (1991).

Известно, что подавляющее большинство (около 90 %) всех видов морских животных в настоящее время обитает на континентальных шельфах или мелководьях на глубинах менее 200 м. Можно считать, что и в фанерозое главное развитие морской фауны происходило на небольших глубинах. При этом наиболее богата мелководная морская фауна сейчас в тропиках, с увеличением широты разнообразие и количество морской фауны уменьшается. Однако в приполярных регионах вновь происходит существенное увеличение биопродуктивности океанов. В каждом широтном поясе наибольшее разнообразие морской фауны наблюдается там, где обеспечивается наибольшая сезонная стабильность пищевых ресурсов, особенно это относится к зонам апвеллингов.

В результате достаточно обособленного современного положения каждого из крупных материков заселяющая их шельфы морская мелководная фауна в настоящее время развивается в 30 биологических провинциях и характеризуется сравнительно небольшим процентом общих для всех провинций видов. По оценкам ученых мелководная морская фауна насчитывает сейчас видов на порядок больше, если бы на Земле существовала только единая фаунистическая шельфовая провинция с самым высоким видовым разнообразием.

Приняв во внимание закономерности расселения мелководной фауны, данные о дрейфе континентов, эвстатических колебаниях уровня Мирового океана и климатических следствиях этих явлений, можно объяснить характер изменения числа таксонов мелководной фауны в фанерозое.

Раздельное положение в раннем палеозое большинства континентальных фрагментов и преимущественное их расположение в тропических и умеренных широтах, трансгрессия океана с амплитудой 200 – 250 м, приведшая к сокращению площади континентов и образованию обширных шельфовых областей, способствовали созданию очень стабильных благоприятных климатических условий на Земле и образованию большого числа фаунистических провинций. Это и обусловило значительное возрастание в кембрии и ордовике числа семейств морской фауны. Некоторое замедление образования новых форм произошло в силуре и было связано, по-видимому, с регрессией океана в конце этого периода. В дальнейшем новая трансгрессия океана и сохранение других благоприятных условий способствовали быстрой эволюции морской фауны.

На границе перми и триаса происходит объединение почти всех континентальных фрагментов в единую Пангею, регрессия океана приводит к значительному увеличению площади континентов, сокращению шельфов и возрастанию широтных и сезонных контрастов климата на Земле. Заметно сокращается число биологических провинций. В таких условиях на границе перми и триаса могли выжить лишь те представители фауны, которые были способны находить пищу в придонных слоях и переносить неустойчивые условия окружающей среды. Те же популяции, которые развились в палеозое в стабильных условиях, подобных современным тропическим, были обречены на вымирание. Поэтому есть все основания полагать, что быстрое вымирание многих видов морской фауны на рубеже палеозоя и мезозоя было обусловлено ухудшением условий внешней среды, сокращением площадей обитания и количества фаунистических провинций.

В раннем мезозое началось разделение материков, в юре наступила последняя глобальная трансгрессия океана, достигшая своего максимума в мелу (359 м). Произошло общее и значительное потепление климата Земли. Именно в этот период на Земле наблюдается эра рептилий. Однако интересно то, что половина из 20 отрядов рептилий появилась лишь в мелу, на последнем этапе их существования. Объяснить это можно тем, что на протяжении триаса и юры, когда начался распад Пангеи, между ее фрагментами еще существовали более или менее устойчивые экологические связи.

Следовательно, в течение значительной части периода развития рептилий в пределах суши существовала или единая экологическая провинция, или очень небольшое число полуизолированных провинций. Только в меловое время, когда началось развитие нескольких действительно достаточно изолированных друг от друга материковых фрагментов, в этот последний период расцвета рептилий образовалась примерно половина отрядов из общего количества класса пресмыкающихся.

Причины резкого вымирания пресмыкающихся на рубеже и палеозоя и мезозоя до последнего времени не получили однозначного объяснения – ученые продолжают спорить по этому вопросу. Однако есть основания предполагать, что и в этом случае причиной является изменение условий окружающей среды. Абсолютное большинство отрядов и семейств пресмыкающихся возникло на Земле в условиях очень стабильного благоприятного климата. На рубеже мезозоя и кайнозоя произошли определенные события, которые заметно изменили климат на нашей планете. Именно к этому периоду антарктический континент сместился в район Южного полюса, и началось глобальное оледенение Антарктиды (рис. 3.13). Северная полярная область хотя и не стала континентальной, но заметно ослабила свой водообмен, а, следовательно, и теплообмен с Мировым океаном. Усугубила положение и заметная регрессия моря на рубеже этих эпох, достигшая максимума в самом начале кайнозоя. Все это привело к общему похолоданию климата на Земле и усилению его континентальности. В этих новых условиях все формы, возникшие в стабильном благоприятном климате мезозоя, и особенно все крупные формы, не могли адаптироваться и были обречены на вымирание.

В раннем мелу, когда еще, вероятно, оставались связи между "разбегающимися" континентальными фрагментами Пангеи, произошло расселение примитивных млекопитающих. В начале кайнозоя (вторая половина палеогена), благодаря значительному удалению друг от друга отдельных континентов и новой трансгрессии океана, сформировалось не менее 10 крупных, существенно или полностью изолированных друг от друга материковых экологических провинций. Итак, 8–10 изолированных друг от друга материковых экологических провинций, а также некоторое улучшение климатических условий в палеогене и явились главным условием

родового разнообразия класса млекопитающих в этот период. Следует заметить, что если за 200 млн. лет пермо-мезозойского периода появилось только 20 отрядов рептилий, то за кайнозой – интервал времени втрое короче первого – возникло около 30 отрядов млекопитающих.

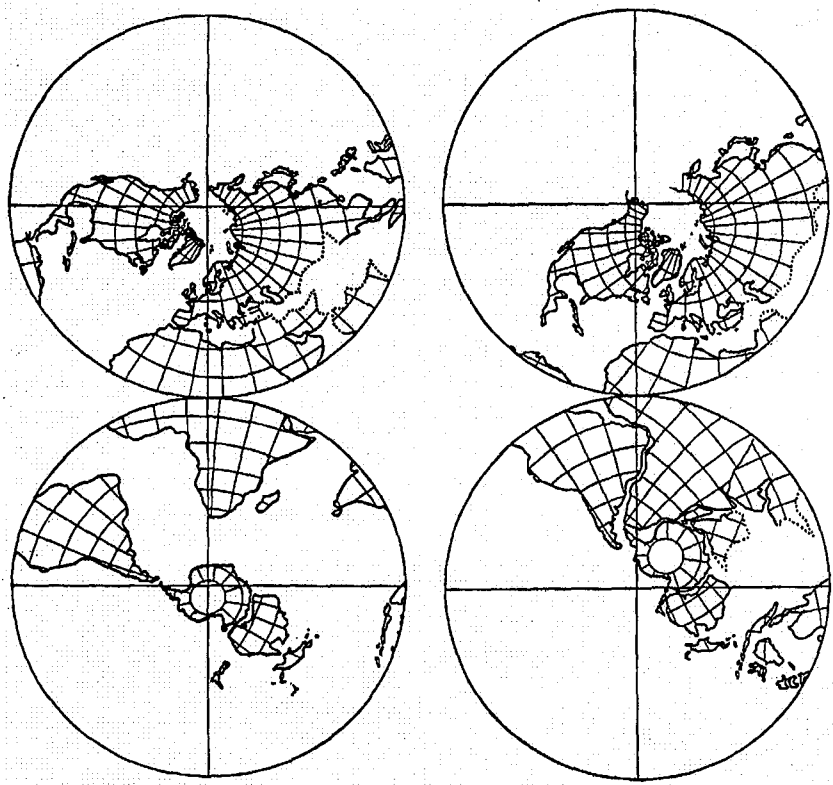


Рис. 3.13. Глобальная палеомагнитная реконструкция движения континентов (по А. Смиту, Дж.Брайдену и Г. Дрюри, 1973).
а – эоцен (50 ±5 млн. лет); б – мел (100 ±10 млн. лет).

В позднем кайнозое произошло соединение нескольких материковых фрагментов, наступила геократическая эпоха, сократилось число экологических провинций до четырех (Австралийская, Центрально-южно-американская, Африканская (южнее Сахары) и самая обширная, включавшая Евразию, Северную Африку и Северную

Америку) и несколько ухудшился климат. Все это привело к вымиранию 13 отрядов сухопутных млекопитающих. При этом выжили те, которые в первой половине кайнозоя развивались в частично изолированных экологических провинциях. Млекопитающие, появившиеся до соединения различных материков в совершенно изолированных условиях, оказывались, как правило, менее приспособленными и погибали.

Конечно, существуют и другие причины, определяющие эволюцию отдельных фрагментов биоты. Но генеральная эволюция биоты тесно связана с эволюцией Земли, ее гидросферы и атмосферы, динамикой литосферных плит, глобальными трансгрессиями и регрессиями океана и изменениями климата планеты.

Можно привести интересный пример того, как тесно жизнь биоты связана с эволюцией Земли и, в частности, опять же с тектоникой литосферных плит. В 1993 г. В.Е. Закруткин опубликовал данные о скорости накопления органического углерода $C_{орг}$ в отдельные периоды развития Земли и наиболее подробно – в периоды фанерозоя. На основании этих данных легко было проследить, как изменялась скорость накопления органического углерода, которая в определенной степени отражает изменения в продуктивности биоты, в зависимости от динамики уровня океана в фанерозое (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Скорость накопления $C_{орг}$ (10^{19}г/10^6 лет) в различные периоды фанерозоя

Трансгрессия океана		Регрессия океана	
Период	Скорость накопления	Периоды	Скорость накопления
Кембрий; ордовик	2,27	Силур; ранний девон	0,93
Средний, поздний девон; карбон	2,73	Пермь; триас	1,05
Средняя, поздняя юра; мел	2,16	Палеоцен	1,43
Эоцен	2,20	Миоцен; плиоцен	1,78

Как видно из табл. 3.2, при средней в фанерозой скорости накопления $C_{орг}$, равной $1{,}9 \cdot 10^{19}$ г/10^6 лет, в периоды трансгрессии океана эта скорость увеличивалась, в периоды же регрессии – в геократические эпохи – заметно уменьшалась.

Интересно, что скорость накопления биогенного углерода снижалась, как оказалось, с архея, когда она ориентировочно составляла $5{,}5 \cdot 10^{19}$ г/10^6 лет. В раннем протерозое, по данным В.Е. Закруткина, она была равна примерно $4{,}8 \cdot 10^{19}$ г/10^6 лет и в позднем протерозое – $2{,}5 \cdot 10^{19}$ г/10^6 лет. Автор объясняет такой парадоксальный результат тем, что сокращалась во времени продуктивность биосферы вследствие уменьшения концентрации углекислого газа и фосфора – основного лимитирующего биопродуктивность биогенного элемента.

Однако не следует забывать, что в архее и протерозое условия консервации $C_{орг}$ в восстановительной обстановке того времени были значительно лучше, чем в фанерозое. Поэтому нужно осторожно подходить к выводу о том, что в эпоху фанерозоя произошло существенное снижение продуктивности биоты.

Что же касается фанерозоя, то действительно периоды трансгрессий связаны с ускорением движения океанических плит, усилением тектонической активности и увеличением из-за этого поступления в атмосферу CO_2 и фосфора в океан и внутренние водоемы с магматическими выходами. В этих условиях биота способна увеличивать свою продукцию, что и находит свое отражение в скорости накопления органического вещества.

3.5. История класса приматов

Человека всегда интересовал вопрос о том, какое он занимает место в системе животного мира. Современная наука четко определяет это место. Так, появление в процессе эмбрионального развития человека хорды, жаберных щелей в полости глотки, дорсальной полости нервной трубки, двухсторонней симметрии в строении тела свидетельствует о принадлежности человека к типу хордовых (Chordata). Развитие позвоночного столба, сердца на брюшной стороне тела, наличие двух пар конечностей – к подтипу позвоночных (Vertebrata). Теплокровность, развитие млечных желез, наличие волос на поверхности тела определяет принадлежность человека к классу млекопитающих (Mammalia). Развитие детеныша внутри тела матери и питание плода через плаценту – к подклассу плацентарных (Eutheria). Множество более частных признаков определяет

положение человека в системе отряда приматов (Primates), подотряда узконосых обезьян.

Поэтому очевидно, что история отряда *приматов* имеет для нас особый интерес. Первые приматы – представители подотряда *полуобезьян* – появились на рубеже палеоцена и эоцена (приблизительно 55 млн. лет назад) от древесных насекомоядных предков, внешне похожих на белок. Такой облик сохранили самые примитивные из современных полуобезьян – *тупайи*. В эоцене (38–53 млн. лет назад) от различных групп семейства наиболее развитых полуобезьян долгопятов произошли первые представители подотряда обезьян – *широконосые обезьяны* Центральной и Южной Америки, эволюционно оказавшиеся побочной ветвью, а через промежуточное звено *парапитеков* (останки которых найдены в отложениях нижнего олигоцена в Египте) – узконосые обезьяны Старого света (рис. 3.14). Среди последних были как низшие (собакоподобные), так и через промежуточные звенья *олигопитеков, проплиопитеков, эолопитеков* и *египтопитеков* произошли *человекоподобные обезьяны* (*гоминоиды*). Гоминоиды сейчас делятся на три семейства: *гиббоновых* (сиаманг и гиббон) с объемом мозга 100–150 $см^3$; *человекообразных обезьян*, или *понгид*, с объемом мозга 350–600 $см^3$ (*орангутанг, шимпанзе* и *гориллы*); и людей, или *гоминид*, с объемом мозга большим, чем у понгид (у современных людей – 1500 $см^3$). Эти семейства произошли от различных миоценовых предков: гиббоны – от найденных в миоцене Африки *лимнопитеков*, орангутанги – от индийских *парасимий*, а гориллы, шимпанзе и человек – от *дриопитеков*.

По-видимому, самыми ранними из гоминид были миоценовые *рамапитеки*. Их останки были найдены в 1961 г. в Кении (Африка) в слое возрастом 14 млн. лет. Фрагменты челюсти свидетельствовали о ряде признаков человека: укороченный профиль лица, широкая зубная дуга, небольшие зубы. Останки рамапитеков были также найдены в слоях возрастом 10–12 млн. лет в южных предгорьях Гималаев в Индии, в Китае, в Центральной Испании и снова в Кении в слоях возрастом 10 млн. лет. Все это свидетельствует о широком распространении рамапитеков в миоценовом поясе саванн, тянувшихся от Африки через всю Азию.

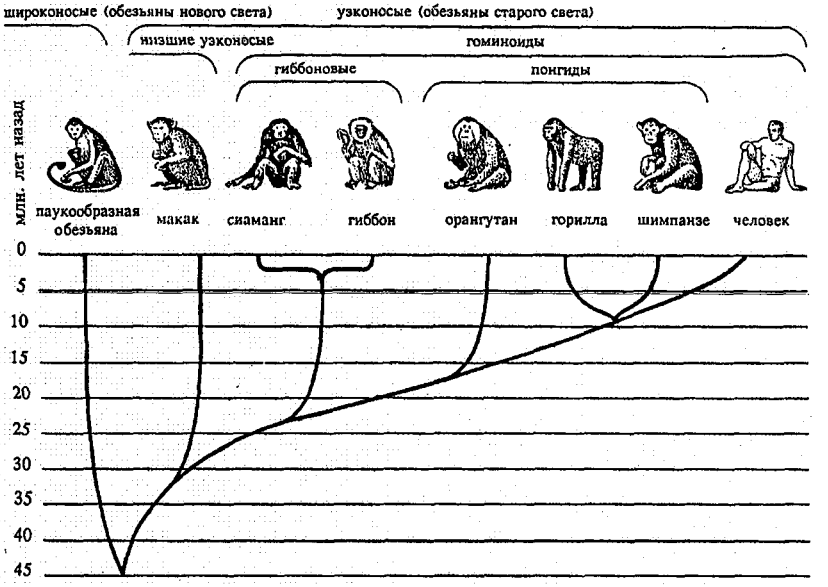


Рис. 3.14. Эволюция приматов, давшая начало человеку (по В. Дольнику, 1994).

Рамапитек – крупная обезьяна, по строению зубов оказавшаяся промежуточной между современными человекообразными обезьянами и человеком. Определенно рамапитеки жили 8–14 млн. лет назад. Поскольку в этот период похолодало, на месте прежних тропических лесов возникли саванны, рамапитеки вышли из леса и стали приспосабливаться жить в саванне. На открытом пространстве потребовалась физическая перестройка организма обезьяны: преимущество получали те особи, которые могли дольше продержаться на двух ногах – в выпрямленном положении. В высокой траве для высматривания добычи и врагов такое положение тела, несомненно, более выгодно. И какие-то рамапитеки встали на ноги. Вставшие на ноги лучше выживали и могли дать потомство. Рамапитеки, по-видимому, стали использовать и какие-то примитивные орудия труда.

Следующим звеном были *австралопитеки* плиоцена, впервые найденные в Южной Африке. Позже на западном побережье оз. Рудольф были найдены наиболее древние останки австралопитеков, возраст которых 5,0–5,5 млн. лет. Самые недавние останки австра-

лопитеков датируются возрастом 700 тыс. лет назад. Австралопитеки сравнительно крупные существа массой от 20 до 65 кг и ростом 100–150 см. Они ходили на коротких ногах при выпрямленном положении тела. У них заметно изменились пропорции туловища и конечностей, получили мощное развитие мышцы ягодиц. Положение затылочного отверстия было сходно с таковым у человека, что также говорит о выпрямленном положении тела. Значительное сходство с человеком у австралопитека отмечается в строении зубов и зубной системы. Объем мозга у них достигал 650–680 $см^3$, т.е. был больше, чем у всех известных к настоящему времени обезьян. Жили они приблизительно с 8 млн. лет до 700 тыс. лет назад. Есть основания предполагать, что они уже могли осуществлять примитивную обработку орудий труда. Найдены такие орудия труда нашего предка, как грубо обитые гальки, отщепы из лавы и кварца.

В 60-е и 70-е годы прошлого столетия было обнаружено много фрагментов существа еще более близкого к человеку, чем австралопитек. Его назвали Homo habilis – человек умелый. Этот наш предок уже активно занимался изготовлением орудий труда. Вероятно, тогда же произошло широкое освоение огня. Это дало такие большие преимущества Homo habilis, что около 2 млн. лет назад началось его быстрое расселение по Африке, Средиземноморью, Центральной и Восточной Азии. Расселясь и попадая в новые условия существования, наши предки образовывали отдельные изолированные формы. Эти формы, жившие с 1 млн. лет назад до примерно 350 тыс. лет назад, названы архантропами (древний человек). Их мозг имел объем около 1000 $см^3$, большое число извилин и развитую долю, управляющую речью. Они создавали каменные орудия и умели пользоваться огнем. К архантропам относятся: *питекантроп* (обезьяночеловек) с объемом мозга 940 $см^3$, найденный на Восточной Яве; *синантропы* (китайские люди) с объемом мозга 850–1300 $см^3$, многочисленные фрагменты скелетов которых найдены в отложениях возрастом 500 тыс. лет в пещерах около Пекина; *атлантропы* (от гор Атлас в Африке), останки которых были найдены в Алжире; другие останки, найденные в Германии, Венгрии.

Можно довольно подробно представить и образ жизни этих существ. Как уже было сказано, они отличались тем, что умели изготавливать орудия. С помощью довольно совершенных ручных

рубил, обтесанных с двух сторон, и каменных сечек-чопперов эти люди умели разделывать убитых животных. Архантропы успешно охотились на слонов, буйволов, носорогов, оленей, грызунов и крупных птиц. Несомненно, они не упускали случая убить и съесть себе подобных. Они ели также ягоды, плоды, коренья, зелень. Жили в пещерах, но были способны строить примитивные укрытия из крупных камней. Активно использовали огонь. Жизнь их еще мало отличалась от звериной. Детская и юношеская смертность была очень высокой.

Трудовая деятельность, стадный образ жизни способствовали к дальнейшему развитию мозга. И случилось главное – архантропы переступили рубикон. Судя по размеру мозга, они должны были обладать настоящей речью (рубиконом считается масса мозга близкая к 750 г., поскольку именно при достижении такой массы мозга ребенок современного человека овладевает речью). Речь, несомненно, была очень примитивной, но это была речь, а не отдельные сигналы, напоминающие крики животных. Возникновение речи, основанное на трудовой деятельности и общественном образе жизни, должно было дать мощный толчок развитию в том же прогрессивном направлении – выделении человечества из мира органической природы.

После периода максимального расцвета 600–400 тыс. лет назад различные формы архантропов быстро исчезли, дав начало новой группе палеоантропам. Они жили в период 350 – 25 тыс. лет назад. Их мозг уже достиг 1500 $см^3$, как у современных людей, и даже крупнее, хотя и с несколько меньшими лобными долями, с лицом почти без подбородка, толстыми надглазничными валиками и покатым лбом, ростом 150 – 165 см. Они изготовляли разнообразные каменные орудия среднего палеолита. Во времена палеоантропов начало формироваться человеческое общество. В его основе лежала коллективная охота на крупных животных. Многочисленные останки палеоантропов найдены в Европе, на островах Средиземного моря, в Северной Африке, Передней и Средней Азии.

Около 30–40 тыс. лет назад появились неоантропы современного типа – *кроманьонцы* (по названию грота Кро-Маньон во французской провинции Дордонь, где были найдены их останки), которые имели сначала каменные, а затем бронзовые и железные ору-

дия. Если бы кроманьонец появился в наше время в уличной толпе, то вряд ли кто-нибудь на него обратил внимание. Таким образом, современный человек возник совсем недавно, всего 30–40 тыс. лет назад. Возник ли он в нескольких местах на Земле (полицентризм) или существовало какое-то одно место его возникновения (гипотеза моноцентризма) – об этом долго спорили. В последнее время вырисовывается комплексная гипотеза, объединяющая аргументы обеих гипотез, получившая название широкого моноцентризма.

По этой гипотезе человек современного типа возник где-то в Восточном Средиземноморье, Передней Азии и на юго-востоке Европы. Именно здесь находят наиболее выраженные промежуточные костные останки между палеоантропами и ранними ископаемыми формами Homo sapiens (кроманьонцами). В те времена все эти территории были покрыты густыми лесами, населенными разнообразными животными. И именно здесь сформировался окончательно современный человек. Фигура стала более стройной, увеличился рост, лицевая часть черепа стала занимать меньше места на голове. Емкость черепа и размер головного мозга в целом не изменились, однако в строении мозга произошли значительные перемены: большое развитие получили лобные доли и зоны, связанные с развитием речи и сложной, конструктивной деятельностью.

После этого началось широкое и активное расселение возникших неоантропов по планете. Тщательный анализ ДНК показал, что численность исходной популяции современных людей не должна была превосходить 5 000 размножающихся пар. Затем, по-видимому, эта популяция разделилась на несколько популяций. Численность их какое-то время была очень низкой, но их конкурентные возможности были высоки, и постепенно их ареал начал расширяться. Менялись и взаимоотношения в кругу семьи, племени. Преимущества перед другими получали те племена, которые заботились о стариках и поддерживали физически не таких сильных, но полезных своими умственными способностями особей (мастеров по выделки орудий, хороших следопытов и т.п.) Несомненно, на ранних этапах развития общества должен был существовать отбор, направленный на возникновение способности ставить превыше всего интересы племени, жертвовать собственной жизнью ради этих интересов. Это и было предпосылкой возникновения со-

циальности, о чем говорил еще Ч. Дарвин: "Те общества, которые имели наибольшее число сочувствующих друг другу членов, должны были процветать больше и оставить после себя более многочисленное потомство".

Однако вряд ли отбор по генам альтруизма вывел "человека в люди", или "труд создал человека". В чудесной книге известного российского ученого В.Р. Дольника "Непослушное дитя биосферы" абсолютно справедливо написано, что человека создал естественный отбор. Первым это понял Ч. Дарвин. И в каких-либо исправлениях его теория не нуждалась ни 100 лет назад, ни ныне. Все последующее развитие науки подтвердило правоту Дарвина. В той же книге В.Р. Дольника на примере многих видов животных показано, в каких случаях естественный отбор происходит в направлении увеличения мозга и повышения интеллектуальности животных.

Во-первых, должна быть сложная и разнообразная среда обитания, причем такая, в которой нужно и можно многое предвидеть и на многое реагировать нестандартно. Саванна Восточной Африки и Азии была для прямоходящих приматов такой средой. Во-вторых, пища должна быть такой, которой в природе не "навалом" и в добывании которой приходится конкурировать с другими, более приспособленными для такой цели, видами. Причем питание должно состоять из разнообразного набора пищи. Очень многие собиратели сообразительны по этой причине. Человек – тоже собиратель. В-третьих, добывание пищи должно требовать сложной манипуляции. По этой причине умны попугаи. В-четвертых, должна быть необходимость собирать пищу впрок и прятать ее в укромных местах. Эта сторона ума очень развита, например, у ворон. Еще лучше, если вид к тому же умеет разгадывать, где спрятаны чужие запасы. В-пятых, необходимо жить в сложно построенной группе. Умные дельфины живут в очень простой среде, питаются «глупой» пищей, которой много и особенно не приходится манипулировать при ее добыче, но их социальные контакты сложны и разнообразны. Социальная структура человеческих групп всегда была сложной и противоречивой. В-шестых, необходимо использовать сложную систему взаимной сигнализации. И это для человека было неизбежно. В-седьмых, обязательно рождение несамостоятельных, медленно растущих детенышей, которых учат всему перечисленному выше. В-восьмых, на-

личие достаточного досуга для игр, исследовательской деятельности, наблюдений и размышлений.

В таком комплексе условий орудийная деятельность или альтруистические наклонности могут занимать определенное место, но ни к чему из ряда вон выходящему не приводят. Так что фраза "труд создал человека" не многим лучше фразы "досуг сделал человека". Путь, который возвысил одну из линий человекообразных над остальными был долгим, извилистым и во многом случайным. Громадным же отрывом от остальных животных человек больше всего обязан речи.

Рассматривая этапы развития Человека разумного в эволюционном плане ученые выделяют три момента. Первый – небывалое духовное, психическое развитие человека. Только человек достиг такого понимания природы, такого уровня самопознания, который сделал возможным появление искусства (возраст первых наскальных изображений 40 тыс. лет).

Вторым величайшим достижением эволюции человека были открытия, приведшие к неолитической революции – приручению животных и окультуриванию растений (около 10 тыс. лет назад). Эти события были, пожалуй, наиболее крупными на пути завоевания определенной независимости человека от окружающей среды. С этого момента человек как бы стал контролировать некоторые стороны среды обитания. Масштабы неолитической революции ныне часто недооцениваются. Следует помнить, что практически все домашние животные и культурные растения созданы нашими далекими предками много тысяч лет назад.

Третий крупный этап в истории – это научно-техническая революция. Человек стал способен по своему желанию менять условия своего существования, обеспечивать условия для жизни там, где ранее оно было невозможно.

В последние два-три тысячелетия физический облик людей изменился мало (происходило, по-видимому, только увеличение их среднего роста). Мало изменился за этот период, по-видимому, и их интеллектуальный уровень. Глубина и изящество мышления древнегреческих философов и математиков не уступают лучшим представителям современной науки.

Каковы же проблемы, связанные с эволюцией человека на современном этапе? Есть все основания полагать, что в последнее время эволюция человека вышла из-под ведущего контроля биологических факторов и во многом управляется действием сил социальных. Однако как биологический вид Homo sapiens не вышел за пределы законов, действующих в биосфере Земли, и поэтому не стал ни независимым от биосферы, ни полностью защищенным от эволюционных процессов, происходящих в окружающей человека среде. Поэтому, несмотря на все свое могущество, отчасти кажущееся, отчасти действительное, он остается очень уязвимым от влияния биосферы, которой он не управляет и более того пока что и плохо контролирует. Вряд ли когда-либо человек сможет управлять биосферой. В лучшем случае он сможет добиться информационного контроля с целью корректировки собственной деятельности, чтобы избежать противоречий между эволюцией биосферы и развитием человеческого общества.

Естественный отбор как основная и направляющая сила эволюции живой природы, хоть и ослабил свое влияние, однако не прекратил свое действие в человеческом обществе. Отбор остается в виде силы, выполняющей стабилизирующую роль в биологической организации человека.

Кроме того, такой важный эволюционный фактор, как мутационный процесс, сохраняет свое прежнее значение в человеческом обществе. Вновь возникающие мутации постоянно меняют генотипический состав населения отдельных регионов, обогащая его новыми признаками. Давление мутационного процесса, как известно, не имеет определенного направления. В условиях человеческого общества вновь возникающие мутации и генетическая комбинаторика ведут к постоянному поддержанию уникальности каждого индивида. Число неповторимых комбинаций в геноме человека превосходит общую численность людей, которые когда-либо будут жить на нашей планете.

В последние годы темп спонтанного мутационного процесса в ряде районов планеты усилился за счет загрязнения биосферы. Создавая и поддерживая разнообразие особей, мутации в то же время являются крайне опасными в условиях ослабления действия естественного отбора из-за увеличения генетического груза в популяциях.

Рождение неполноценных детей, общее снижение жизнеспособности особей, несущих вредные (вплоть до полулетальных) гены, – все это реальные опасности нашего вида на современном этапе развития.

Есть и положительные моменты. Нарушение изолирующих барьеров между людьми, живущими в различных регионах планеты, способствует формообразованию и обогащает генофонд человечества. Однако положительное влияние этого фактора в дальнейшем будет ослабевать.

Одним из элементарных эволюционных факторов всегда были волны численности. Во времена эпидемий холеры и чумы всего лишь несколько сотен лет назад население Европы сокращалось в десятки раз. Такое сокращение могло быть основой для ряда случайных, ненаправленных процессов изменения генофонда населения отдельных районов. Ныне этого не происходит. Поэтому влияние изменения численности как эволюционного фактора может сказываться в очень ограниченных локальных условиях.

Итак, действие элементарных эволюционных факторов (естественного отбора и волн численности) резко сокращается, и неизменно лишь давление мутационного процесса. Поэтому не приходится ожидать какого-либо существенного изменения биологического облика человека, сложившегося уже у неоантропов. Текущие в человечестве процессы ведут к усилению коллективного разума, а не к преимущественному размножению отдельных гениальных личностей.

Человек возник в условиях чистой атмосферы, чистой воды и т.д. Как будет человек эволюционировать в новой, загрязненной среде, пока до конца не ясно. Но есть очень беспокоющие моменты:

- чрезвычайно широкое распространение аллергии – болезненной реакции организма на воздействие внешней среды;
- значительное увеличение канцерогенных заболеваний;
- возникновение и быстрое распространение СПИДа;
- возникновение целого ряда новых болезней;
- общее снижение уровня действия иммунной системы человека.

Кроме того, эволюция человека как биологического вида тесно связана с эволюцией множества видов животных, растений и микроорганизмов. Так, существует тесная непосредственная связь с другими организмами, обитающими внутри нашего тела, на по-

верхности кожи, во вдыхаемом воздухе, в воде, которую мы пьем, и т.д. Обычно эти микроорганизмы безвредны, так как на протяжении сопряженной эволюции все они коадаптированы друг с другом и с человеком. Многие из микроорганизмов, населяющих наше тело, являются необходимыми компонентами того своеобразного биоценоза, которым является тело человека (кишечная флора и фауна, молочнокислые бактерии, некоторые дрожжи и многие другие микроорганизмы). Как они эволюционируют в новых условиях и как это отражается на человеке, далеко не ясно.

Все время мутируют патогенные микроорганизмы – наши непременные эволюционные попутчики (возбудители гриппа, чумы, холеры, тифа, малярии и других болезней). Эволюционно выработанного иммунитета ко многим из них у человека нет. Таким образом, прогноз дальнейшей эволюции человека пока сделать очень трудно.

В заключение этого раздела можно сделать следующие выводы:

- биосфера Земли, раз появившись на Земле, никогда не прерывалась за 4 млрд. лет, но переживала весьма тяжелые кризисы;
- биосфера Земли относительно легко переживает кризисные ситуации, связанные со значительным сокращением площади, ею занимаемой;
- перестройка организации биосферы, напротив, всегда приводила к тяжелым затяжным кризисам, сопровождающимся снижением устойчивости биохимических круговоротов;
- взаимодействие человека с биосферой всегда связано с изъятием части ее продукции, и она экспоненциально увеличивается вместе с ростом народонаселения, так что не следует надеяться на бесконфликтные отношения человека и биосферы;
- при взаимодействии человека и биосферы наибольшей опасности подвергаются экосистемы высокой связности и стабильности, такие, как морские или дождевой тропический лес, система лесов умеренного пояса. Чем дольше они сопротивляются, тем глубже и резче будет кризис, тем болезненнее и дольше выход из него.

3.6 Физико-экологическая концепция развития биосферы

Рассмотрим взгляд на эволюцию биосферы с позиций физики. Такая концепция, основанная на физических представлениях о развитии биосферы, была предложена В.Ф. Левченко в его монографии "Модели в теории биологической эволюции", изданной в 1993 г. Приведем основные положения этой концепции.

Если проследить развитие биосферы с момента возникновения жизни до настоящего времени, то становится ясным основное направление эволюции – увеличение эффективности использования природных источников энергии для синтеза органического вещества. Можно выделить три таких способа и соответственно три этапа в эволюции биосферы.

Первый этап – архейский – это выбор источника энергии и типа химического процесса. Очевидно, что в земных условиях наиболее богатым источником энергии на поверхности Земли является солнечная радиация, а наиболее подходящим процессом ее использования – фотосинтез. Этот этап был осуществлен в пределах царства прокариотных организмов, среди которых можно наблюдать значительное разнообразие типов автотрофного питания.

Как только благодаря хлорофиллу возобладал процесс фотосинтеза, началась его оптимизация – второй этап – протерозойский. Оптимизация шла двумя параллельными путями: оптимизация химической стороны процесса за счет изменения набора пигментов, участвующих в фотосинтезе, и оптимизация внутриклеточного фотосинтетического аппарата. Имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о значительном разнообразии фотосинтетических пигментов у эукариотных организмов. Однако в конечном итоге в результате эволюции лишь два варианта пигментов получили преобладание. Во-первых, это хлорофиллы *a* и *b* у эвгленовых, празиновых, зеленых и харовых водорослей и высших растений. Во-вторых, это хлорофилы a, c^1 и c^2 у золотистых, гаптофитовых, желто-зеленых, диатомовых и бурых водорослей. Эти два набора оказались оптимальными.

Параллельно шла эволюция ультраструктуры внутриклеточного синтезирующего аппарата, которая привела к появлению двух оптимальных вариантов, одного для первой из перечисленных выше групп и другого – для второй.

По-видимому, среди низших эукариотных организмов возможности химической и ультраструктурной эволюции фотосинтетического аппарата были исчерпаны уже к фанерозою. Оставалась еще одна, не химическая, а механическая возможность интенсификации продуктивности фотосинтеза – это увеличение фотосинтезирующей поверхности на единицу поверхности Земли. Эта возможность осуществилась на третьем этапе – фанерозойском, когда поверхность суши была заселена растениями.

Увеличение эффективности использования природных источников энергии могло происходить и происходило только под давлением консументов, являющихся одним из звеньев в цепи биотического круговорота. Это означает, что с древнейших времен существовали не независимые популяции отдельных организмов, а экосистемы.

Если рассматривать динамику экосистем, то легко установить, что эволюция автотрофов вела к замедлению круговорота углерода за счет возрастания времени его пребывания в восстановленном состоянии (в виде живых тел автотрофов). При этом, если в экосистеме не хватает гетеротрофов, то значительная часть углерода выводится из экосистемы в восстановленном состоянии и захоранивается в осадочных толщах.

Напротив, развитие гетеротрофов ускоряет круговорот углерода, правда, в меньшей степени, чем его замедляют автотрофы. Поэтому суммарным результатом эволюции, особенно в фанерозое, явилось существенное замедление круговорота углерода несмотря на то что к концу кризисных эпох происходило его некоторое ускорение. Время жизни автотрофных организмов некоторых видов возросло до сотен дет (на порядки), а количество восстановленного углерода в биосфере значительно увеличилось при сравнительно небольших изменениях концентрации CO_2.

Анализ эволюционных изменений позволяет наметить общую тенденцию развития экосистем и биосферы. Прогрессивными в плане устойчивости экосистем и более полного использования ими факторов среды следует считать такие морфологические, физиологические, поведенческие и связанные с вариациями плодовитости изменения организмов, которые у автотрофов ведут к замедлению круговорота углерода в биосфере, а у гетеротрофов – к его ускорению.

Что же оказывает определяющее влияние на ход эволюционного процесса? Только ли конкуренция и отбор? Вспомним хорошо известное обстоятельство, что ни один организм, ни одна видовая популяция не существуют сами по себе и вне других. Все организмы включены в те или иные экосистемы, взаимодействуют между собой, используют условия среды, создаваемые организмами других видов. Значит, изучать эволюцию, можно только рассматривая все биологическое окружение организмов и связи между ними. По сути, следует говорить о коэволюции и об экосистемах как об экологических конструкциях, в которых разные популяции, как правило, способствуют существованию друг друга, находясь в отношениях, сходных с симбиотическими. И только на фундаменте экологического симбиоза разворачивается конкуренция между популяциями, использующими сходные элементы среды.

Вследствие того, что компоненты экосистемы взаимосвязаны, сосуществуют по типу симбиоза, сама экосистема не может не быть консервативной. Она не подвержена самопроизвольным изменениям, и принципиальные перестройки экосистемы и их смена в ходе истории биосферы во многих отношениях обусловлены развитием последней. Существование экосистем и биосферы непосредственно связано с таким их устройством и такими сохраняющими реакциями на изменения среды, в которых существует биота и при которых поддерживается определенный, необходимый для их функционирования, уровень упорядочности. В противном случае происходит дезорганизация и распад (смерть) экосистемы и возникновение из ее фрагментов, если это возможно, новой системы.

Сказав о сохраняющих реакциях экосистем, их "стремлении" к стабильности и самосохранению, отметим, что в процессе эволюции выживают и остаются только те системы, которые способны к поддержанию внутренней упорядочности. Для поддержания упорядочности необходимо, чтобы в систему постоянно или периодически поступал поток энергии или вещества из среды. Механизм функционирования самосохраняющихся биосистем в идеальном случае заключается в том, что при временном выключении традиционных энергетических каналов – прерывании – такие биосистемы "ищут" новые каналы или же повышают эффективность работы старых каналов, а по окончании прерывания могут использовать

как старые, так и найденные способы извлечения энергии из среды. Таким образом, прерывания могут приводить к увеличению энергетического потока через самосохраняющуюся биосистему.

В случае таких систем, как биосфера или ее отдельных крупных фрагментов, это выражается в том, что при прерываниях преимущества в отборе начинают иметь виды продуцентов, которые более эффективно извлекают энергию из среды. В ряде случаев таковыми являются пионерные формы. После восстановления отбор на всех трофических уровнях опять становится преимущественно стабилизирующим, и новые состояния биосферы как бы "замораживаются".

Согласно палеонтологическим данным, фотосинтетический индекс наземных растительных сообществ в течение фанерозоя увеличивался, а эффективность использования солнечной энергии некоторыми из них соответственно возросла с кембрия примерно в 100 раз. Несомненно, что увеличение потока энергии через единицу площади биосферы – физическое развитие биосферы, влекущее за собой повышение производства органического вещества и увеличение количества органики, одновременно присутствующей в биосфере, – приводит к снижению уровня энтропии системы биосферы и усложнению особенностей ее структуры (росту упорядоченности в глобальном масштабе). Создаются условия для увеличения количества трофических уровней, удлинения трофических цепей.

Все это придает направленность эволюционному процессу, поскольку возникший комплекс возможностей допускает существование новых жизненных форм, выполняющих в биосфере разнообразные и сложные функции. Увеличивается биологическое разнообразие, возникают новые типы взаимоотношений и связей между различными организмами, усложняются экосистемы, повышается внутренний гомеостаз биосферы в процессе ее развития.

Из изложенного следует, что средний энергетический поток через биосферу может быть параметром, который характеризует уровень развития и "прогрессивности" биосферы. В периоды стабильного развития биосферы скорость ее физического развития замедляется и естественный отбор направлен на поддержание видов, способствующих внутреннему гомеостазу биосферы.

В заключение можно сделать следующие выводы:

- кризисные ситуации в развитии биосферы были той причиной, которая ускоряла эволюционный процесс и придавала ему четкую направленность;
- в итоге кризисов снимались ограничения, обусловленные конкуренцией и канализирующим влиянием среды на развитие других таксонов различного ранга, зачастую появившихся намного ранее кризисной эпохи, но не имевших широкого распространения. Можно говорить, что после кризисов происходила смена одной системы биосферы другой;
- в эволюции биосферы решающим был выход на сушу растений. Именно с этим связано последующее очень быстрое ее развитие, усложнение и достижение того разнообразия, которое мы имеем в настоящее время;
- развитие биосферы в целом детерминировано, конкретная видовая реализация эволюции биоты случайна;
- на Земле идет единый процесс эволюции биосферы и составляющих ее экосистем;
- объяснить наблюдаемую скорость эволюции с помощью случайных и равновероятных в любом участке генотипа мутаций невозможно (это подтверждается многочисленными данными современной генетики и молекулярной биологии). Скорость эволюции определяется условиями среды. Совершенно случайных мутаций нет, а те, которые происходят, возникают преимущественно в генах, перестающих справляться со своими функциями. Образно говоря, мутации случаются там, где они нужны, и тогда, когда они нужны, и далее уже работает естественный отбор;
- в процессе эволюции биосфера стремится увеличить свою устойчивость и способность противостоять внешним воздействиям.

Глава 4. УСТОЙЧИВОСТЬ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

4.1 Биотическая регуляция окружающей среды

Напомним, что термин "биота" был введен для объяснения понятий флоры и фауны. Окружающая среда – это элементы живой и неживой природы, с которыми взаимодействует заданный живой организм.

Окружающая среда в глобальном масштабе для любого живого организма – это биосфера. При этом в биосферу логично включать и те элементы внешней среды, в которой нет живых организмов, но которые интенсивно взаимодействуют с окружающей биоту средой.

Окружающая среда характеризуется прежде всего количеством энергии и концентрациями химических соединений, потребляемых живыми организмами, а также температурой и влажностью. Для организмов, синтезирующих органические вещества (растений), важны концентрации неорганических веществ, углекислого газа, основных биогенов (азота, фосфора, кремния) и многих других элементов, входящих в состав тел живых организмов. Для организмов, разлагающих органические вещества на неорганические (бактерий, грибов, животных), важны концентрации органических веществ и кислорода в воздухе, воде, почве и на земле.

Возникает вопрос: являются ли концентрации этих соединений (биогенов) в окружающей среде случайными для биоты величинами, сложившимися лишь в результате абиогенных геохимических процессов, или же эти концентрации сформированы в большей степени самой биотой и поддерживаются ею на оптимальном для жизни уровне?

В первом случае биота должна была бы непрерывно приспосабливаться к изменяющейся окружающей среде. Однако концентрации неорганических биогенов за счет геохимических процессов могут меняться на величины порядка 100 % за период примерно 100 тыс. лет. Однако столь же разительных изменений в биоте за сроки 100 тыс. лет нигде не фиксируется. При этом, если эти изменения в биоте и происходят, то они на один-два порядка слабее, чем изменения в концентрации неорганических биогенов. Биота путем направленного изменения управляемых ею концентраций биогенов окружающей среды компенсирует геохимические изменения их концентраций.

Она реагирует на изменения окружающей среды в соответствии с принципом Ле Шателье в физических и химических устойчивых системах. Хотя нужно сразу отметить, что полной аналогии здесь нет, и развитие биосферы не всегда происходило, в устойчивом режиме. Периоды устойчивого режима биосферы сменялись серьезными кризисами и переходами ее в новые состояния. Тем не менее биота стремится к поддержанию основных жизненно важных параметров для ее существования на некоем стабильном уровне путем направленного изменения их в ответ на внешнее возмущение, и в периоды устойчивого режима биосферы этот принцип в ней не нарушается.

4.2. Механизмы биологической регуляции окружающей среды

Воздействие биоты на окружающую среду сводится к синтезу органических веществ из неорганических, разложению органических веществ на неорганические, к изменению соотношения между запасами органических и неорганических веществ в биосфере. Скорость синтеза органических веществ определяет продукцию, а скорость их разложения – деструкцию. Так как органические вещества, входящие в состав живых организмов, имеют относительно постоянное соотношение химических элементов, то большей частью продукцию и деструкцию измеряют в единицах массы органического углерода, синтезируемого или разлагаемого в единицу времени.

Очевидно, что биота способна создавать локальные концентрации биогенов в окружающей среде, отличающиеся на величины 100 % и более от концентраций во внешней среде в том случае, когда потоки синтеза и разложения органических веществ, приходящиеся на единицу земной поверхности (называемые продуктивностью и деструктивностью), превосходят физические потоки переноса биогенов. Такая ситуация имеет место в почве, где физические потоки диффузного расплывания биогенов значительно меньше биологической продуктивности. Поэтому почва обогащена органическими веществами и необходимыми для растений неорганическими соединениями по сравнению с нижележащими слоями земной поверхности, где живые организмы отсутствуют. Локальные концентрации биогенов в почве регулируются биологически.

Известно, что потребности океанического планктона обеспечиваются внутренним круговоротом в азоте более чем на 98 % в фосфоре более чем на 99 % , в кремнии почти на 75 %. С нарастанием глубины концентрации биогенов увеличиваются, а концентрация кислорода уменьшается. Это объясняется тем, что фотосинтез органических веществ осуществляется в поверхностном слое воды, куда проникает свет. Разложение же органических веществ происходит как в поверхностном слое, так и на глубинах. Поток неорганических соединений из глубины в поверхностные слои обеспечивается диффузией, поскольку благодаря продуцированию органики в поверхностном слое всегда поддерживается отрицательный градиент неорганических биогенов между поверхностными и глубинными слоями. Что касается кислорода, то он диффундирует с поверхности в зону окисления. Это достаточно медленный процесс, но в океане в средних широтах наблюдается активное осенне-зимние перемешивание слоев воды; кроме того, есть зоны, где поверхностные воды, обогащенные кислородом, погружаются в глубину (даунвеллинг), и зоны, где к поверхности поднимаются глубинные воды (апвеллинг) вследствие действия физических процессов.

Концентрация растворенного углекислого газа на глубине в несколько раз выше, чем на поверхности. Поверхностная же концентрация CO_2 находится в равновесии с атмосферой. При прекращении жизни в океане концентрации биогенов в глубинах и на поверхности сравняются. Для углекислого газа сохранится разность концентраций порядка 30 %, связанная с различиями в его растворимости в зависимости от температуры. Но эта разность в десятки раз меньше, чем поддерживаемая жизнью разность концентрацией CO_2. Кроме того, запас растворенного неорганического углерода в виде бикарбонатных ионов, находящихся в химическом равновесии с растворенным CO_2, почти на два порядка больше, чем в атмосфере. Поэтому концентрация CO_2 в атмосфере увеличивается во много раз при очень небольших изменениях концентрации углерода в океане. Это неизбежно приводит к заметным изменениям в парниковом эффекте на Земле и существенным изменениям климата.

Таким образом, биота Земли, с одной стороны, поддерживает концентрацию биогенов в зоне синтеза органики в океане на каком то стационарном уровне, а с другой – способствует поддержанию

температуры воздуха на Земле на уровне, наиболее обеспечивающем стационарное развитие биосферы.

Если физические потоки переноса биогенов значительно превосходят биологическую продуктивность, то тогда за счет деятельности живых организмов концентрации биогенов в окружающей среде могут лишь на доли процента отличаться от их концентраций во внешней среде. Однако, если при таком изменении концентрации у биоты возникают ощутимые преимущества (другими словами, если эти изменения находятся в пределах разрешающей способности биоты), то они будут поддерживаться биотой в нужном ей направлении. Появившаяся разность концентраций вызывает физические потоки биогенов из внешней среды в окружающую или обратно. Такой поток будет существовать до тех пор, пока концентрация биогена в обеих средах не выравнивается, т. е. пока она не достигнет оптимального для стационарного состояния биоты значения. Таким образом, биота может регулировать глобальные концентрации биогенов во внешней среде, которая поэтому должна быть включена в понятие биосферы.

Например, большая часть атмосферы – это "внешняя среда" по отношению к биоте. Избыток CO_2 в атмосфере может быть переведен биотой в относительно малоактивные органические формы. Наоборот, недостаток CO_2 во "внешней среде" может быть дополнен за счет разложения этих органических запасов. Такие запасы органики содержатся в лесах (древесная масса), болотах (запасы торфа), гумусе почвы, растворенном органическом веществе океана (океаническом гумусе). Установлено, что после каждого кризиса биосфера увеличивала запасы органики на Земле, сохраняя таким образом свою способность к стационарному развитию, или устойчивость. С помощью этих запасов органики, по-видимому, поддерживается постоянная концентрация не только углекислого газа, но и кислорода в атмосфере и океане.

В глобальном масштабе точно измерить как количество, так и изменение запасов органического вещества биосферы достаточно сложно, и это является одной из главных задач Международной геосферно-биосферной программы и глобального мониторинга. Тем не менее порядок величины известен достаточно хорошо (рис. 4.1).

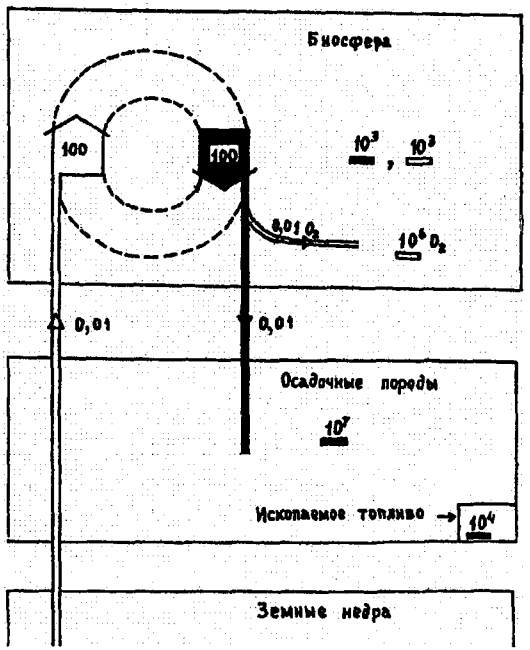


Рис. 4.1. Годовые потоки и запасы углерода в биосфере (в Гт С) (по В.Г. Горшкову, 1995). Потоки органического углерода зачернены и подчеркнуты жирной линией соответственно.

Запасы органического и неорганического углерода в биосфере совпадают по порядку величины 10^3–10^4 Гт (1 Гт = 10^{15} г). Отношение этих запасов к продуктивности глобальной биоты (10^2 Гт) представляет собой время биологического оборота биогенных запасов биосферы, которое имеет порядок десятков лет. Следовательно, при наличии только синтеза органических веществ весь неорганический углерод биосферы будет израсходован и переведен в органические соединения за десятки лет. Аналогично при наличии только разложения весь органический углерод биосферы исчезнет за десятки лет.

С помощью измерения концентрации углерода в пузырьках воздуха в ледяных кернах Антарктиды и Гренландии установлено, что концентрация углерода в атмосфере оставалась постоянной в пределах погрешности измерений в течение последних нескольких тысяч лет. За время порядка сотен тысяч лет (в 10^4 раза больше вре-

мени оборота запасов углерода в биосфере) концентрация углерода в атмосфере сохраняла свой порядок. Из этих данных следует, что глобальные среднегодовые потоки биологического синтеза и разложения органических веществ совпадают с точностью до четырех значащих цифр, т. е. компенсируют друг друга с относительной точностью порядка 10^{-4}.

Неорганический углерод выбрасывается в биосферу за счет процессов дегазации и откладывается в осадочных породах, выбывая из биосферы. Современные оценки этих потоков составляют $3 \cdot 10^{-2}$ Гт и $2 \cdot 10^{-2}$ Гт, т. е. они не равны между собой и их разность составляет чистый поток неорганического углерода в биосферу, равный около $1 \cdot 10^{-2}$ Гт.

Отношение современного запаса неорганического углерода в биосфере к его чистому геофизическому потоку имеет порядок 10^3 : 0,01≈100 000, или 10^5. Отсюда следует, что за 100 млн. лет в стационарных условиях развития биосферы запас неорганического углерода должен был возрасти в биосфере в 1000 раз. Этого не произошло. Если даже рассматривать только период кайнозоя, когда в развитии биосферы не наблюдалось крупных кризисов, то и в этом случае это увеличение было бы более чем в 500 раз. Следовательно, существует компенсирующий поток органического углерода в осадочные породы. При этом чистый геофизический поток неорганического углерода в биосферу и поток захоронения органического углерода в осадочных породах (равный разности продукции и деструкции) в среднем должен совпадать, по-видимому, с точностью не менее 10^{-2}. Таким образом, первые четыре знака в величинах продукции и деструкции совпадали с абсолютной точностью на протяжении десятков тысяч лет. Следующие же два знака в разности продукции и деструкции совпадали с величинами чистого геофизического потока углерода на протяжении десятков миллионов лет. Следовательно, на протяжении геологических периодов биота контролирует не менее шести значащих цифр в величинах продукции и деструкции, т. е. регулирующая роль биоты исключительно высока, ибо случайное совпадение величин продукции и деструкции с такой точностью невероятно.

Количество кислорода в атмосфере на три порядка превосходит количество кислорода, необходимое для разложения всего органи-

ческого углерода биосферы. Продолжающийся процесс захоронения органического углерода в осадочных породах, поток которого составляет десятитысячную часть продукции в биосфере, обеспечивает постоянство концентраций кислорода и углекислого газа в биосфере.

Таким образом, современная биота устроена так, что способна с высочайшей точностью поддерживать оптимальное для нее состояние окружающей среды и, следовательно, свое стационарное состояние. По-видимому, эта способность биоты возрастала со временем. В более ранние эпохи, в докембрии (особенно в архее), примитивные водоросле-бактериальные системы не могли создать запасы органических веществ в биосфере и не могли поддерживать в течение длительных промежутков времени стационарные условия для своего развития в тех очень динамичных условиях эволюции Земли. Тем не менее величина продукции биосферы того времени была, по-видимому, достаточно большая и поддерживалась в биосфере тех лет более высоким содержанием неорганических биогенов. Это приводило в отдельные периоды к заметным превышениям продукции над деструкцией и отложениям органики в осадочных породах.

Возникает вопрос, зачем биота развивает такое огромное количество продукций? Ведь для того чтобы компенсировать неблагоприятные процессы в биосфере, связанные с изменениями тектонической активности, климата Земли, достаточно было бы иметь и не столь большую продукцию. Однако многие флуктуации окружающей среды происходят достаточно быстро, и если бы биота медленно восстанавливала нормальное состояние окружающей среды, то многие виды были бы вынуждены длительное время существовать в неестественных условиях. Такое положение могло бы привести к быстрому вымиранию видов и разрушению способности биоты компенсировать возмущения окружающей среды. Огромная мощность продукции, достигнутая биотой, которая является оптимальной, но не максимальной, позволяет ей восстанавливать любые естественные нарушения в окружающей среде в кратчайшие сроки – за десятилетия. Такие относительно непродолжительные нарушения в окружающей среде оказываются безопасными для любых видов организмов. Есть все основания полагать, что столь высокий уровень продукции биосферы был достигнут ею еще на первых этапах ее эволюции.

4.3 Нарушается ли принцип Ле Шателье в современной биосфере?

Огромная мощность, развиваемая биотой Земли, таит в себе скрытую опасность возможно быстрого развития кризиса биосферы. Если скоррелированное взаимодействие видов в естественных сообществах биоты будет существенно нарушено, то окружающая среда может заметно исказиться за десятки лет. Если же вся биота будет уничтожена, то окружающая биоту среда сможет исказиться на столько же, только за сотни тысяч лет. Поэтому нарушение структуры естественной биоты на основе преобразования природы представляет для нее в 10 000 раз большую опасность, чем полное уничтожение биоты. Именно это является причиной того, что оптимальная продуктивность поддерживается естественной биотой на наинизшем уровне, достаточном для компенсации всех внешних возмущений, который почти везде ниже уровня максимально возможной продуктивности. Стремление довести продуктивность агро- и марикультур до максимально возможного уровня всегда приводит к наибольшим возмущениям окружающей среды.

Общеизвестно, что в настоящее время происходят глобальные изменения окружающей среды. Показателем является рост углекислого газа в атмосфере, особенно усиливающийся в последние несколько десятков лет (рис. 4.2). Естественно ожидать, что биота суши и океана реагирует на это увеличение в соответствии с принципом Ле Шателье, поглощая углекислый газ из атмосферы. Однако грубый глобальный анализ землепользования к 80-м годам прошлого века показал, что на значительных освоенных территориях количество органического углерода не увеличивается, а уменьшается, причем скорость выброса углерода в атмосферу из континентальной биоты и органических запасов почвы совпадает по порядку величины со скоростью выбросов ископаемого углерода от сжигания угля, нефти и газа.

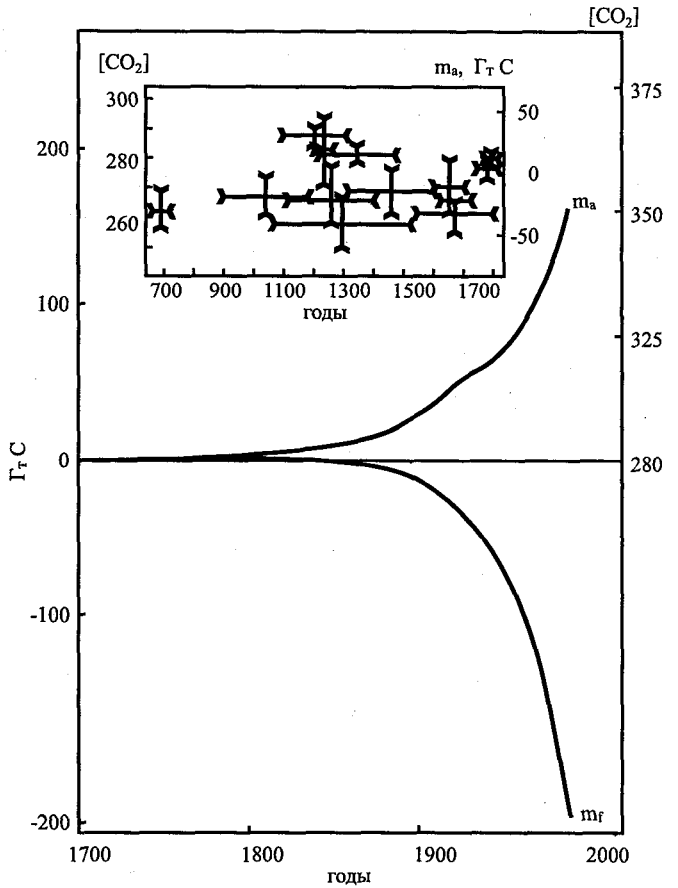


Рис. 4.2. Наблюдаемые глобальные изменения запасов углерода (ma) в атмосфере и уменьшение запасов ископаемого углерода за счет сжигания угля, нефти и газа (mf) (по В.Г. Горшкову, 1995)

Был сделан вывод, что современная биота нарушает принцип Ле Шателье (В.Г. Горшков "Физические и биологические основы устойчивости жизни, 1995 г.). Если это так, то структура естественной биоты суши должна быть нарушена в глобальных масштабах, а это значит, что биосфера теряет устойчивость. При этом исходя из того, что в доиндустриальную эпоху человек эксплуатировал 5 % территории суши, на которых использовал 20 % продукции, т.е. антро-

погенная доля потребления продукции биоты составляла 1 %, уровень использования продукции биосферы в 1 % принимается за максимально допустимый. В то время, действительно, вопрос об охране окружающей среды не стоял. В настоящее время человек потребляет около 10 % продукции биосферы, что, по мнению В.Г. Горшкова и ряда других ученых, привело к выходу биосферы из устойчивого состояния. Такой подход является несколько упрощенным. Возникает вопрос почему потребление продукции биосферы в 1 % допустим, что естественно, в 10 % недопустим, что, может быть, тоже оправдано, но почему недопустимо потребление 5 % продукции биосферы? Естественно, для человечества это очень важные оценки и они должны быть сделаны более тщательно. Поэтому необходимо ответить на важнейший вопрос: какую долю продукции биосферы может потреблять человек, не нарушая естественного хода процессов в биосфере?

Возникают и другие вопросы:

1. Вышла ли в настоящее время биосфера необратимо из устойчивого состояния или она может еще вернуться в прежнее устойчивое состояние после заметного ослабления антропогенного пресса на нее?

2. Существует ли другое устойчивое состояние биосферы, в которое она может перейти при дальнейшем росте антропогенного возмущения?

Ответить на эти вопросы непросто. Попробуем вначале разобраться, действительно ли изъятие 10 % продукции биосферы привело к потере устойчивости биосферы Земли в целом.

В 1980–1990 гг. были проведены достаточно детальные исследования по международной программе за динамикой углекислого газа в атмосфере Земли. Оказалось, что его содержание в атмосфере возрастало в среднем на 3 Гт/год (точнее на 2,79 Гт/год). Общие выбросы CO_2 в атмосферу в среднем были равны 8,23 Гт/год, из них 5,4 Гт/год за счет сжигания ископаемого топлива и 2,83 Гт/год за счет дыхания биоты и ее разложения. Поглощала же биота 5,44 Гт/год (4,52 Гт/год – биота суши и 0,92 Гт/год – биота океана). Таким образом, биота Земли потребляла не только весь выделяемый ею в процессе дыхания и разложения углерод, но и почти половину углерода, выбрасываемого в атмосферу за счет антропогенной деятельности.

Таким образом, можно считать, что принцип Ле Шателье в биосфере пока по прежнему работает и оснований для вывода о потери устойчивости биосферы и ее активной деградации нет. Но основания для беспокойства есть, несмотря на то что у биосферы еще имеется какой-то запас устойчивости. И дело тут не в парниковом эффекте CO_2 и не в быстром расходовании ископаемого топлива, которое скоро истощится (чем быстрее истощится топливо, тем скорее прекратится выброс CO_2 в атмосферу, и кто сказал, что климат теплее на 1 – 2° будет столь неблагоприятным для биоты, тем более, что в биосфере существует и физические регуляторы климата). Дело в другом. Хотя биота в средних и высоких широтах пока еще является стоком атмосферного CO_2, в низких широтах в южном полушарии баланс близок к нулевому, а в северном – биота является источником поступления CO_2 в атмосферу. Этот факт связан прежде всего с резким сокращением площади тропических лесов.

Даже противники В. Г. Горшкова – "оптимисты" – в свете сказанного вынуждены признать, что антропогенная нагрузка на биосферу действительно велика и что надо уменьшить расход ископаемого топлива, переходить на альтернативные источники энергии и восстанавливать тропические леса.

Таким образом, можно считать, что биосфера еще не перешла рубеж устойчивости и вопрос, способна ли она вернуться в устойчивое положение, пока отпадает. По-видимому, уровень использования 1 % от продукции биосферы, как максимально допустимый, слишком уже занижен и есть основания полагать, что уровень использования 5 % от продукции более соответствует возможностям современной биосферы поддерживать стационарный режим своего развития.

Что касается вопроса о других устойчивых состояниях биосферы, то без сомнения они возможны. Но переход от одного уровня устойчивого развития к другому всегда сопровождался в биосфере кризисными ситуациями – "катастрофами", при которых вымирало иногда до 50 % видов, и время выходов из кризисов продолжалось десятки миллионов лет. Сохранится ли человек как вид при переходе биосферы к новому стационарному уровню развития? Очень маловероятно. Поэтому с позиции нашего вида другое устойчивое состояние биосферы маловероятно и проводить эксперименты такого рода вид *Homo sapiens* не имеет права.

4.4. Механизмы устойчивости биосферы

Каким же образом функционирует естественная биота и как достигается высокая точность контроля за изменением синтеза и разложения органических веществ в биосфере?

Основной принцип, определяющий функционирование жизни на любых уровнях, – это конкретное взаимодействие автономных, нескоррелированных между собой особей. Это тот же принцип, который лежит в основе свободного рынка. Хорошо известно, что точность, с которой происходит фиксация цен на свободном рынке, очень высока. Никакие расчеты на основе математических моделей и современной компьютерной техники не могут достигнуть этой точности и заменить собой рынок. Отказ от свободного рынка ведет к потери точности и росту непроизводительных расходов. Рынок не придуман человеком. Он существует потому, что в основе него лежат действия живых людей – членов человеческой популяции. Современные рынки – это лишь приспособление основных принципов жизни к существующей культуре и цивилизации человечества. Как выглядит свободный рынок в биосфере?

Популяционный уровень. Любые живые особи представляют собой сложнейшие типы скоррелированности на молекулярном, клеточном и организменном уровнях. Главной особенностью жизни является то, что в силу чрезвычайной сложности корреляционных связей любой конкретный тип скоррелированности в биоте всегда является неустойчивым и распадается с течением времени. Для организма этот распад соответствует смерти. Однако гибель отдельной особи не означает гибель популяции.

В последовательном ряду потомков одной особи происходит неизбежное, экспериментально подтвержденное накопление распадных изменений наследственной программы. Относительное число распадных особей в потомстве нормальной особи является количественной видовой характеристикой. Например, из каждых 700 новорожденных у человека один страдает тяжелым генетическим нарушением – синдромом Дауна; один из 100, доживших до 55 лет, проявляет симптом шизофрении и т. д. Большинство распадных особей способно размножаться не менее интенсивно, чем нормальные особи. Для сохранения уровня организации популяции все рас-

падные особи должны либо устранятся от размножения, либо тем или иным способом исключаться из популяции. Сохранение уровня может быть обеспечено только нормальными особями, имеющими наибольшую конкурентоспособность в естественных для вида условиях. Выявление распадных особей и устранение их из популяции осуществляется в процессе конкурентного взаимодействия всех особей.

С отклонением внешних условий от естественных, т. е. с выходом популяции из ее ниши, корреляционные связи особи с окружающей средой разрушаются и конкурентоспособности нормальных и распадных особей выравниваются. Исчезают критерии отличия нормальных особей от распадных. В эти периоды в силу непрекращающихся процессов распада относительное число распадных особей в популяции (т. е. генетическое разнообразие популяции) экспоненциально возрастает. Доля нормальных особей уменьшается. Однако с возвратом к внешним условиям естественной экологической ниши максимальная конкурентоспособность нормальных особей восстанавливается, и они вытесняют распадных особей из популяции.

Именно для остановки накопления распадных особей в популяции требуется быстрая компенсация возмущений внешних условий, обеспечиваемая огромной величиной продуктивности биоты. В стационарном состоянии распадные особи всегда присутствуют, но их частота встречаемости в естественных условиях мала.

Устойчивой является только популяция конкурентно взаимодействующих особей. При выключенном конкурентном взаимодействии популяция вырождается и, в конечном счете, неизбежно вырождение и вымирание вида.

Очевидно, что стабилизация существующего типа внутренней скоррелированности живых особей в популяции на основе их конкурентного взаимодействия и отбора выполнима только, если все особи внутри популяции являются совершенно независимыми и нескоррелированы между собой. В противном случае вытеснение распадной особи из популяции было бы невозможным, как невозможно вытеснение больного органа из организма. Отсюда следует также, что поддержание внутренней скоррелированности живых особей в популяции принципиально не может обеспечиваться за счет централизованного управления всей популяцией.

Уровень сообществ. Наиболее сложным видом скоррелированности среди живых объектов является скоррелированность различных видов в сообществах. Именно этот тип скоррелированности обеспечивает биотическую регуляцию и выполнение принципа Ле Шателье в биосфере по отношению к внешним возмущениям окружающей среды. Возникновение сообществ связано только с необходимостью управления окружающей средой и поддержания замкнутости круговоротов веществ в отсутствии внешних возмущений. Для этого каждый вид в скоррелированном сообществе (элементарном сообществе) выполняет строго определенную работу по стабилизации окружающей среды. В условиях, когда искусственно подаются необходимые питательные вещества и удаляются отходы, сообщества не возникают. Например, городские воробьи поддерживают видовую устойчивость в течение тысячелетий вне их естественных сообществ, в которые они когда-то входили. Появление наряду с воробьями еще и голубей, а в приморских городах – и чаек не привело к возникновению сообщества. То же относится ко всем видам домашних животных и культурных растений. Сложность видового разнообразия элементарного сообщества служит единственной цели – поддержанию его максимальной конкурентоспособности.

Аналогично конкретным организмам в популяции каждое конкретное сообщество имеет конечные размеры и распадается с течением времени, поскольку в нем высок уровень скоррелированности между популяциями разных видов. Распад заключается в потере способности поддерживать стабильные условия окружающей среды с высокой точностью. Это приводит к локальному искажению окружающей среды, утрате конкурентоспособности сообществом и его вытеснению непрерывно образующимися новыми сообществами. Все известные способы стабилизации уровня организации особей основаны на существовании конкурентного взаимодействия в рамках их популяций. Поэтому естественно полагать, что стабилизация уровня организации любых сообществ достигается тем же способом, а именно – их конкурентным взаимодействием в рамках ассоциации сообществ.

Численность сообществ в их ассоциации определяется размером отдельного сообщества. Размер отдельного сообщества ограничивается областью, в которой потоки синтеза и разложения органи-

ческого вещества совпадают с максимальной точностью в нормальных условиях при нормальном функционировании сообщества. По-видимому, сообщество представляет собой биоценоз, который совместно с конкретным участком земной поверхности образует элементарную экосистему, или биогеоценоз. По определению, биогеоценоз – это такая экосистема, внутри которой не проходит биоценотических, микроклиматических, почвенных и гидрологических границ. Внешне заметные границы биогеоценозов чаще всего совпадают с границами растительных сообществ. Чем меньше размер сообщества, тем жестче могут быть связаны входящие в него организмы различных видов. Большинство сообществ имеют пространственные размеры в десятки метров.

Быстрое вытеснение распавшихся сообществ приводит к кажущейся однородности всей ассоциации сообществ, занимающей большую площадь земной поверхности и обеспечивающей на ней точное совпадение продукции и деструкции и максимум биотической регуляции отклонений от этого равенства при возмущениях окружающей среды. Ассоциации сообществ соответствуют региональному климату и образуют экосистемные единицы более высокого уровня, называемые биомами. Для каждого биома характерна определенная форма климатической растительности в его стационарном состоянии, а следовательно, и вся система животного мира (биомы: континентальные – тундра, северные хвойные леса, влажные хвойные леса умеренной зоны, листопадные леса умеренной зоны, тропическая саванна, пустыня, горный, высокогорный; морские – арктические (латераль, сублатераль, абиссаль), бореальный, субтропический, тропический и то же на внутренних водоемах: стоячие в различных зонах, проточные в различных зонах и для глубоких – с разделением по глубине).

Количественно степень разомкнутости круговорота веществ можно характеризовать величиной разомкнутости, равной разности потоков синтеза и разложения, деленной на поток синтеза. В естественных условиях после усреднения по сезонам и за период, исключающим межгодовые флуктуации, эта величина в биосфере поддерживается на уровне 10^{-4}, т.е. сотой доли процента.

В отсутствие внешних возмущений разомкнутость должна достигать минимальных значений уже на уровне отдельного сообщест-

ва при условии его стационарного состояния и всегда обеспечиваться на уровне ассоциации сообществ.

Для того чтобы потоки синтеза и разложений совпадали с такой высокой точностью, необходимо, чтобы случайные относительные флуктуации этих потоков не превосходили величину разомкнутости. Малость случайных флуктуаций в сообществах, состоящих из конкурентно взаимодействующих особей, может обеспечиваться только статистическим законом больших чисел, согласно которому относительная флуктуация пропорциональна $1/\sqrt{N}$, где N – число нескоррелированных между собой частей системы. Следовательно, отдельно и синтез, и разложение в сообществе должны производиться большим числом независимых частей (рис. 4.3). В случае крупных растений снижение внутренней скоррелированности достигается хаотическим распределением листвы, ветвей, корней. В случае крупных животных, входящих практически в состав всех естественных природных сообществ, уменьшение доли потребляемой ими продукции растений сообщества происходит за счет увеличения площади их обитания и включения их во множество отдельных сообществ. Нет крупных животных обитающих в одном сообществе. Человек вносит заметное возмущение в распределение скорости разложения органических веществ по размерам тел организмов, разлагающих органические вещества (пунктирная линия на рис. 4.3).

В подвергающихся непрерывному возмущению культурных агроценозах разомкнутость всегда выше десятков процентов. В то же время после прекращения возмущения разомкнутость быстро опускается до нескольких процентов (например, после сплошной рубки лесов – за десятки лет на сельскохозяйственных угодьях (на бывших луговых участках) – за годы). При этом происходит образование конкурентно взаимодействующих сообществ и непрерывное сокращение их размеров, уменьшается видовое разнообразие и межвидовая конкуренция. Однако выход на фоновый уровень разомкнутости порядка сотых долей процента и образование естественных сообществ с минимальными размерами происходит за более длительные сроки (после сплошной вырубки лесов – за сотни лет, после многократных смен растительного покрова и появления естественного возрастного распределения растительности).

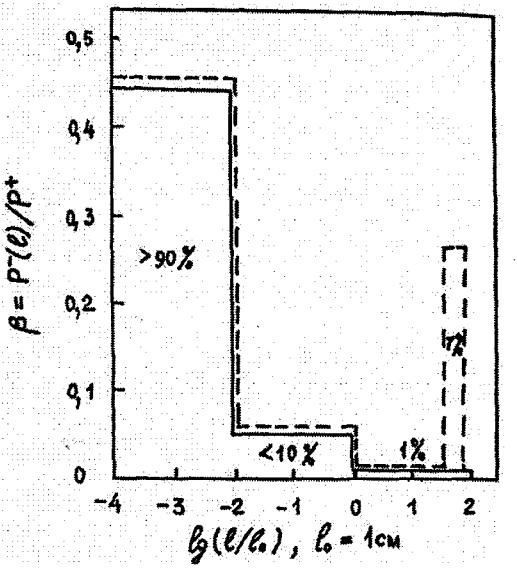


Рис. 4.3. Распределение скорости разложения (деструкции) органических веществ по размерам тел организмов, разлагающие органические вещества на суше. $\beta = P\bar{l}(l)/P+$, $P\bar{l}(l)$ – спектральная плотность относительной деструкции, производимой организмами с размером тела l, $P+$ – продукция растений суши (чистая первичная продукция).

4.5 Стабильность биоты и эволюция

Описанные способы устойчивости биоты и стабилизации окружающей среды обеспечивают также и эволюцию биологических видов и их сообществ. Закрепится в биосфере могут лишь те виды, которые не приводят к уменьшению конкурентоспособности сообщества, т. е. к уменьшению способности к биотической регуляции окружающей среды и степени замкнутости круговоротов веществ. Естественный отбор в этом случае работает на сохранение стационарных условий и стационарного развития биосферы. Заметные изменения видового состава биосферы и переход биосферы из одного устойчивого состояния в другое, связанные с изменениями окружающей среды под влиянием внешних факторов, происходили в ходе эволюции биосферы медленно, в течение миллионов лет. В течение сотен и тысяч лет биота не может перейти в новое устойчи-

вое состояние. Могут лишь наблюдаться процессы возврата (релаксации) к существующему в данный геологический период устойчивому состоянию. Релаксация происходит после естественных внешних возмущений, не нарушающих устойчивость биосферы. При возмущениях, превосходящих пределы устойчивости биосферы на данном уровне, происходит кризис в ее развитии, приводящий к заметному разрушению (вымиранию многих видов), после чего следует вспышка видообразования и переход биосферы на новый уровень устойчивости в соответствии с изменившимися условиями внешней среды (это прежде всего – изменение климата). Полного распада биосферы и жизни никогда не происходило за всю ее историю и, по-видимому, уже не может произойти в силу того, что эволюция Земли как планеты после бурного начального периода своего развития давно уже идет по пути стабилизации и до начала процессов распада магнетита в мантии Земли (приблизительно через 600 млн. лет) биосфера Земли будет существовать.

Направление эволюции всегда определяется ростом конкурентоспособности и вытеснением предшествующих менее конкурентоспособных форм жизни. Рост конкурентоспособности не всегда связан с увеличением организации биосферы. Эволюция может идти и в направлении разрушения достигнутой организации, роста агрессивной конкурентоспособности при утрате жизнеспособности, т.е. вытеснения более агрессивными и менее организованными особями более организованных, но менее агрессивных.

В частности, это может происходить в результате увеличения размеров как живых организмов, так и их социальных структур и сообществ. Это увеличение, как правило, сопровождается ростом конкурентоспособности. Рост размера приводит к уменьшению числа особей в популяции и, в конечном счете, к полной скоррелированности всех частей популяции и прекращению конкурентного взаимодействия и отбора. Сокращение числа независимо действующих живых особей в сообществе нарушает действие закона больших чисел, что приводит к неограниченному росту флуктуации синтеза и разложения органических веществ в сообществе и невозможности их поддержания в скоррелированном состоянии. С одной стороны, распространение крупных особей по всем сообществам биосферы означает, что сообщества, содержащие крупных особей,

более устойчивы и, следовательно, конкурентоспособны, чем сообщество их не содержащие. С другой стороны, сведение роли мелких животных к минимуму во всех сообществах биосферы означает, что сообщества, в которых роль крупных особей становится определяющей в доле потребления потоков питательных веществ, теряют устойчивость и конкурентоспособность. Это же происходит и при росте числа особей в популяции – экспансии вида.

Экспансия возникает при наличии неиспользованных жизнью, пригодных для питания потоков энергии и химических веществ, поскольку в этом случае эту энергию могут использовать неконкурентоспособные распадные особи, изгнанные из популяции. Для предотвращения этого необходимо, чтобы конкурентоспособные нормальные особи осуществили экспансию, т. е. захватили все пригодные для жизни потоки внешней энергии и веществ путем генерации своих копий. Следовательно, экспансия в этом случае необходима. При этом происходит вытеснение неконкурентоспособных особей как своего, так и других видов, использующих те же потоки веществ и энергии (занимающих те же экологические ниши).

Экспансия происходит как на заданной территории путем увеличения плотности конкурентоспособных особей до максимально возможного предела, так и путем расширения пространства, используемого популяцией. Эволюционные изменения, связанные с увеличением конкурентоспособности, также закрепляются путем экспансии. В период экспансии конкурентное взаимодействие оказывается ослабленным или полностью выключенным. Поэтому для сохранения достигнутого уровня конкурентоспособности время протекания экспансии должно быть много меньше времени утраты приобретенного преимущества.

Если бы пригодные для использования жизни потоки энергии были бы неограниченны (условия энергетического изобилия), то экспансия длилась бы бесконечно долго, конкурентное взаимодействие было бы выключено и стабилизация, и следовательно, существование жизни, были бы невозможны. Таким образом, жизнь может существовать только при ограниченности используемых ею потоков внешней энергии, т.е. в условиях отсутствия энергетического изобилия.

Длительность существования жизни и имеющиеся палеоданные указывают на то, что в биосфере всегда существовал барьер, останавливающий эволюцию в направлении разрушения организации жизни. Этот барьер – отсутствие биогенов в биосфере. Время эволюции биосферы определяется временем смены видового состава биоты или, в предположении постоянства числа видов в биосфере, средней продолжительностью существования вида. Это время имеет порядок млн. лет. Время биотического оборота биогенов равно отношению биогенов в биосфере к продукции биоты и имеет порядок 10 лет, что в сто тысяч раз меньше времени эволюции. В результате эволюция биосферы происходит в условиях резкой ограниченности ресурсов биосферы. Любое эволюционное изменение, связанное с нарушением скоррелированности синтеза и разложения органических веществ в сообществе, оказывается невозможным. Значительно быстрее этого изменения происходит полное локальное искажение окружающей среды в силу чрезвычайно высокой мощности синтеза и разложения органических веществ биотой. Это приводит к немедленной потере конкурентоспособности и вытеснению подобного сообщества.

4.6. Прогресс человеческого общества и проблема сохранения биосферы

Научно-технический прогресс в настоящее время стал активным фактором влияния на развитие биосферы Земли и процесс эволюции биоты.

В условиях свободного рынка смена технологий в настоящий период сократилась до десятков лет и стала намного меньше времени истощения ресурсов биосферы. В этой ситуации человечество попадает в состояние кажущегося изобилия природных ресурсов. И это, как мы увидим далее, на самом деле так. Истощение ресурсов происходит медленно и не успевает сказываться на технологии. Ресурсоистощающие технологии оказываются наиболее конкурентоспособными и быстро вытесняют все ресурсосберегающие технологии, включая естественные сообщества биосферы. Вплоть до настоящего времени практически все научные открытия и технологические усовершенствования оценивались с позиций того, насколько эффективными они являются в дальнейшем преобразовании приро-

ды, т. е. усиления возмущения естественной биоты и окружающей среды. (Это очень ярко проявляется сейчас в России, где прикладная направленность науки на более эффективное использование ресурсов биосферы становится основой ее развития.)

Отказ от конкурентного взаимодействия и рыночной экономики путем перехода к централизованному управлению в глобальных масштабах может привести к регулированию прогресса и сокращению скорости истощения природной среды, но только на определенное время. Однако при наличии связи с внешним окружением, развивающимся на базе свободной конкуренции, централизованно управляемая система теряет конкурентоспособность и вытесняется. В стремлении противостоять вытеснению и повысить свою конкурентоспособность централизованно управляемая система в силу малой эффективности использования природных ресурсов может в локальных условиях превзойти максимальную скорость истощения природной среды, развиваемую рыночной экономикой. Длительное существование централизованно управляемой системы возможно только при полной изоляции и при прекращении конкурентного взаимодействия с внешним миром, что эквивалентно отсутствию (или ликвидации) последнего.

Глобальное истощение окружающей среды прогрессирующей рыночной экономикой может сопровождаться поддержанием стационарного состояния и даже видимого улучшения определенных локальных участков на основе разомкнутого круговорота веществ путем непрерывного внесения необходимого количества потребляемых веществ и непрерывного удаления отходов. Этот принцип используется природой для поддержания жизни отдельного организма. Тот же принцип используется человеком для поддержания стационарного состояния своих жилищ, приусадебных участков, парков и любых культурных комплексов. Однако разомкнутость локального круговорота означает, что существование искусственно поддерживаемого в стационарном состоянии участка сопровождается ухудшением состояния окружающей среды в остальной части биосферы. Цветущий сад, озеро или река, поддерживаемые в стационарном состоянии на базе разомкнутого круговорота веществ с доведенной до максимума продуктивностью, гораздо опаснее для биосферы в целом, чем заброшенная земля, превращенная в пусты-

ню. В естественных пустынях продолжает действовать принцип Ле Шателье. Лишь величина компенсаций возмущений оказывается ослабленной по сравнению с более продуктивными экосистемами.

Для того чтобы ресурсоистощающие технологии в условиях свободного рынка потеряли конкурентоспособность по сравнению с ресурсосберегающими, необходимо, чтобы время оборота используемых ресурсов окружающей среды было бы намного меньше времени смены технологий, т. е. около одного года. Между тем, как мы увидим далее, время истощения большинства невозобновимых ресурсов имеет порядок сотен и тысяч лет.

Выходов из этой ситуации два либо увеличить в сотни раз потребление ресурсов, либо найти какой-то способ сократить их использование хотя бы в десятки раз. Только тогда экономика автоматически станет "экологичной". В противном случае экономический прогресс должен привести к разрушению приемлемого для жизни состояния окружающей среды.

Естественная биота не потребляет невозобновляемых ресурсов. В естественной биосфере наблюдается постоянство органического и неорганического углерода. Лишь изменения условий окружающей среды за счет внешних факторов вынуждают биоту нарушать это постоянство, которое тут же восстанавливается после восстановления условий среды. В стационарном состоянии развития биосферы биотическая регуляция окружающей среды и замкнутость круговоротов в ней не может быть нарушена.

Переход к ресурсосберегающим технологиям после ликвидации невозобновимых ресурсов за счет увеличения скорости их потребления (на что фактически настроена современная цивилизация) нереален. Это могло бы привести к положительному результату только в том случае, если бы увеличение скорости потребления произошло за достаточно малое время, в течение которого прогресс не успел бы заметно исказить биосферу. В действительности указанный рост потребления неизбежно будет растянут во времени. За это время истощающий ресурсы прогресс неизбежно столь исказит биосферу, что кризис ее станет неизбежен.

Возникает вопрос: как же все-таки сохранить биосферу и не допустить ее кризиса, при котором выжить нашему виду возможно (и даже очень вероятно) не удастся?

Выход из ситуации, разные ученые видят по-разному.

В.Г. Горшков и многие другие считают, что необходимо отказаться от использования невозобновляемых ресурсов. Современное энергопотребление на 90 % основано на невозобновляемых ресурсах. Отказ от последних приведет к сокращению энергопотребления примерно в 10 раз. Во столько же должно произойти и сокращение численности населения. Это, в свою очередь, в 10 раз сократит антропогенное возмущение континентальной биоты, что позволит последней полностью восстановить действие принципа Ле Шателье. Он считает, что поддержание энергопотребления на современном уровне даже при переходе к так называемым экологически чистым источникам энергии означает продолжение разрушения естественной биоты.

Весь процесс сокращения должен быть растянут во времени настолько, чтобы технологический процесс при сохранении свободной конкуренции успел перестроиться на ресурсосберегающие технологии. Горшков считает, что это вполне реально может произойти за время от нескольких десятков до сотен лет, в течение которых в силу постепенного сокращения антропогенного возмущения биосфера не успеет необратимо разрушиться. За это время можно было бы осуществить переход к однодетному рождению (которое соответствует 2 %-ному сокращению населения в год), что привело бы к уменьшению численности населения как раз примерно в 10 раз. При этом переход от растущей сейчас с двухпроцентной скоростью численности населения к сокращению с той же скоростью не приведет ни к каким экономическим проблемам. Величины демографической нагрузки на общество детьми в первом случае переходят в нагрузку той же величины стариками. Величина демографической нагрузки определяется количеством детей до 15 лет и людей пожилого возраста после 60–65 лет. Наименьшую демографическую нагрузку имеет стационарное общество. Однако в современном технологическом обществе все дети должны проходить через дорогостоящий период обучения. Между тем современные старики длительно сохраняют здоровье и работоспособность и большинство из них может, обеспечить свое существование. В результате экономическая нагрузка ребенком заметно превышает нагрузку стариком. В результате переход от роста численности населения к

сокращению с той же скоростью в развитом экономически обществе приводит к сокращению экономической нагрузки на общество и может оказаться меньше, чем в стационарном случае.

Традиционная боязнь депопуляции и политическое стимулирование высокого престижа многодетных семей связаны с неизбежной в прошлом потерей конкурентоспособности нации, сокращающей численность населения, в сравнении с нацией, увеличивающей ее. Эта опасность исчезает при переходе ко всеобщему пропорциональному сокращению численности всех наций (при сохранении популяций малых народов). Кроме того, при современных средствах обороны, основанных на ядерном оружии, возможно сдерживание практически любой агрессии небольшим числом людских ресурсов.

Сокращение рождаемости является нормальной естественной реакцией любых видов биосферы на случайные популяционные взрывы. В последнее время престиж многодетных семей быстро снижается во всем мире, и человечество морально подготовлено к переходу на однодетное рождение. Таким образом, по мнению В.Г. Горшкова, рассматриваемая возможность является реальной с экологической, демографической, экономической и морально-этической точек зрения и представляет лишь политическую (и, по-видимому, отчасти религиозную) проблему, которая вполне может быть решена с помощью современных средств массовой информации при поддержке церкви, сохраняющей до сих пор, к сожалению, консервативность в этих важнейших для будущего человечества вопросах.

Программа сокращения антропогенного возмущения и восстановление принципа Ле Шателье в биосфере может оказаться успешной при условии, что уже сейчас будут полностью прекращены в глобальных масштабах экспансия хозяйственной деятельности и освоение еще не искаженных цивилизацией естественных участков биосферы, которые могут быть очагами ее восстановления.

Наибольшую ценность на Земле, как наиболее продуктивные сообщества континентов, представляют из себя леса и болота, среди которых особую ценность имеют тропические сообщества, а также леса и болота средних широт. В отсутствие возмущений естественные леса и болота не воздействуют на внешнюю среду. Девственный лес начинает воздействовать на внешнюю среду только при ее возмущениях, причем в направлении компенсации возмущений.

Территория, подвергшаяся вырубке леса или мелиорации, примерно в 1000 раз уменьшает замкнутость круговоротов веществ и способность компенсировать возмущения внешней среды по сравнению с девственными лесами и болотами. За миллионы лет эволюции природа выработала наиболее эффективные способы восстановления действия принципа Ле Шателье в кратчайшие сроки. Поврежденные участки леса зарастают породами, которые образуют временные сообщества, быстро уменьшающие разомкнутость круговорота веществ. Примерно через 10 лет после ликвидации лесного покрова разомкнутость уменьшается в 10 раз (со 100 до 10 %). Затем происходит последовательная смена сообществ (сукцессия), в процессе которой разомкнутость продолжает уменьшаться. По-видимому, через 200–300 лет этот процесс заканчивается и лес переходит в первоначальное невозмущенное состояние при наличии невозмущенного окружения у поврежденного участка, т. е. сохранения вблизи популяций естественных сообществ. Если в целях экономической выгоды наискорейшего выращивания ценных пород деревьев вмешиваться в процессы сукцессии, например, обрабатывая вырубки ядохимикатами, подавляющими рост неценных пород, то сокращение разомкнутости круговоротов веществ сильно замедляется.

Периодические вырубки леса, происходящие сейчас в среднем через 50 лет после образования экономически пригодной для вырубки древесины, обрывают процесс восстановления первичного леса с замкнутым круговоротом веществ и способностью компенсации внешней среды. Для возврата к естественной биосфере необходимо увеличить промежуток времени между последовательными вырубками леса до 300 лет, т. е. сократить в 6 раз в глобальном масштабе. Учитывая, что сейчас повсеместно вырубки превосходят объем естественного прироста, что приводит к сокращению лесных площадей, необходимо, по мнению В.Г. Горшкова, сократить вырубки леса минимум в 10 раз, т.е. во столько же, во сколько требуется сократить численность населения.

В.Г. Горшков считает также, что для остановки дальнейшего разрушения биосферы необходимо выплачивать всем странам – обладателям нетронутой цивилизацией естественной биоты – международный налог в размере, превышающем возможные доходы от использования ресурсов этой биоты. Выплачивать этот налог долж-

ны развитые страны, поскольку они достигли своего благосостояния и при этом не разрушили окружающую среду только потому, что не тронутая цивилизацией природа развивающихся стран компенсировала урон, наносимый развитыми странами окружающей среде в глобальном масштабе. И уж ни в коем случае недопустимо использование экономического потенциала развитых стран для ускорения извлечения ресурсов нетронутой природы развивающихся стран. Поднятие уровня жизни людей развивающихся стран до уровня жизни развитых на базе свободного рынка путем извлечения максимальной экономической выгоды от эксплуатации ресурсов природной среды неизбежно приведет к глобальному экологическому кризису. В какой-то степени это положение может быть основой для урегулирования проблем, которые поддерживают движение антиглобализма, развернувшееся в последние годы во всем мире.

Точка зрения В.Г. Горшкова и той группы ученых, которые его поддерживают, без сомнения, достаточно обоснована. Можно, конечно, спорить, в 10 ли раз необходимо сократить численность населения на Земле, чтобы уменьшить потребление продукции естественной биоты в 10 раз, обеспечивая естественную схему потребления органики на Земле. Тем не менее ясно, что взрыв численности нашей популяции лучше остановить нам самим, чем ждать, когда это сделает сама природа.

Однако ряд ученых считает, что выводы В.Г. Горшкова о современном состоянии биосферы слишком пессимистичны. Академики М.Е. Виноградов, А.С. Монин и д-р. биол. наук Г.Е. Михайловский, как и В.Г. Горшков, выражают большую тревогу по поводу уничтожения биосферы. Они не приемлют лозунг современной защиты биосферы "Здесь и сейчас!" Заставить конкретный завод поставить фильтры на трубу, чтобы воздух в соседнем поселке стал чище, принудить крупную животноводческую ферму построить очистные сооружения и оздоровить протекающую рядом речку, обязать ближайшее государство уменьшить трансграничный перенос и тем самым уберечь свои леса, луга и пашни – все это нужно, часто даже жизненно необходимо. Но не решает главную проблему – сохранения биосферы. Более того, вольно или невольно в общественном сознании культивируется самоуспокаивающая иллюзия, что, решив все локальные, сиюминутные задачи, справимся и с ос-

новной проблемой – глобальным экологическим кризисом. Между тем, очищая одно, мы неизбежно загрязняем другое. Свалки превратились в глобальную проблему цивилизации. Антропогенные загрязнения лишь перемещаются с места на место, но биосфера в целом не очищается. Переход на замкнутые технологии в промышленности тоже лишь оттягивает развязку, но не решает проблему принципиально:

1. во-первых, промышленные циклы не могут быть полностью замкнутыми даже по веществу (металлы коррозируют, пластмассы сгорают, бетон выветривается и т. д.).

2. во-вторых, по принципу замкнутых циклов нельзя утилизировать высокотоксичные и радиоактивные отходы.

3. в-третьих, достижение обособленности по веществу требует энергетических затрат, а замкнуть производство по энергии нельзя в силу второго закона термодинамики.

Все это заставляет указанных авторов считать вслед за В.Г. Горшковым, что проблему сохранения биосферы необходимо решать глобально, нужна глобальная экологическая стратегия. И в центр ее авторы также ставят вопрос о регулировании человечеством своей численности.

Однако авторы данной концепции считают, что в теории В.Г. Горшкова явно недооценивается роль океана, биологическая продукция каоторого очень велика, и исключение ее из глобальных оценок недопустимо. Если в доиндустриальную эпоху человек использовал около 20 % биоты с 5 % территории суши, то антропогенная доля потребления не превышала 1 %. Современная доля потребления на порядок больше. Но если учесть океан с его двумя третями продукции биосферы, то доиндустриальная антропогенная доля потребления понизится до 0,3 %, а современная – до 3 %. Но тогда, если человечество не должно потреблять более 1 % глобальной продукции, численность населения надо уменьшить уже не в 10 раз, а всего в 3 раза. Рассуждения не очень убедительны, ибо В.Г. Горшков все свои оценки соотносил только с продукцией суши и, возможно, распространять их на океан не правомерно, тем более что регулирующие круговорот веществ возможности биоты суши в 4–5 раз больше, чем океана.

Существуют и ученые, которые в отличие и от В.Г. Горшкова, и от М.Е. Виноградова с соавторами, считают, что можно, правильно организовав научно-технический прогресс, обеспечить устойчивое развитие биосферы. К сожалению, "оптимисты" строят свои выводы в основном не на изложении теоретической концепции устойчивого развития биосферы, что было бы наиболее логично, а на критике положений теории "пессимистов".

Рассмотрим их точку зрения на проблему и начнем, как и они, с критики тех положений, которые мы рассматривали в теории В.Г. Горшкова.

Один из тезисов В.Г. Горшкова гласил, что до промышленной революции биогеохимические циклы основных веществ были замкнуты с высокой точностью. Годовой приток углерода в биоту не превышал его годовой отток (или наоборот) больше чем на 10^{-7}–10^{-8} долей, или, по крайней мере, – 10^{-6} долей. Иначе за 4 млрд. лет ее существования содержание углерода в ней накопилось бы значительно больше, чем наблюдается в реальности. "Оптимисты" видят в таком рассуждении неявный вывод о том, что биомасса монотонно увеличивалась от нуля до современных значений, хотя такого вывода В.Г. Горшков нигде не делает. Далее, сделав свой собственный вывод, оптимисты его успешно опровергают. В действительности геологические и палеонтологические данные показывают, что скорость изменения биомассы на Земле как по величине, так и по знаку не была постоянной. Были и периоды активного видообразования и наращивания биомассы, были и "катастрофы"; когда за относительно короткие исторические сроки (10–15 млн. лет) резко сокращалось число видов на Земле и, соответственно, биомасса. Однако понятие “быстро” по геологическим масштабам несравнимо с понятием “быстро” в современную эпоху.

Правда, можно возразить, что в относительно стационарное время развития биосферы от последнего ледникового периода до современных дней биомасса на Земле возросла, по разным оценкам, в 1,3–2,4 раза всего за 18 000 лет. Достоверны, однако, более или менее только минимальные оценки. Изменения биомассы в 0,0015 % в год, т. е. совпадение притока и оттока углерода только с точностью до шестого знака, а не седьмого или восьмого, принципиально не

меняет выводов В.Г. Горшкова, а наоборот, скорее является аргументом в их обоснованности.

Далее критике подвергается тезис о сильной регулирующей способности биоты в биосфере. Для этого выбирается такой параметр, как климат, который действительно лишь отчасти регулируется биотой и который был, по-видимому, основным в процессе изменений скорости эволюции биосферы, поскольку регулируется целым рядом причин, никак не зависящих от биоты.

Критики В.Г. Горшкова в целом рассматривают биоту заведомо пассивным элементом. Например, М.Н. Изаков пишет: "Если бы скорость дегазации недр уменьшилась в 2 раза, то при сохранении других процессов атмосферный углекислый газ был бы израсходован всего за 600 тыс. лет, после чего прекратился бы фотосинтез. Если бы скорость дегазации недр увеличилась в 2 раза, биота через несколько миллионов лет погибла бы от перегрева, связанного с ростом парникового эффекта". Самое интересное, что в истории Земли действительно имели место заметные изменения скорости дегазации мантии, особенно в карбоне и перми. И биота достаточно быстро, по геологическим меркам, реагировала на эти изменения увеличением своей продукции, снижая эффект этого воздействия.

Далее противники В.Г. Горшкова взваливают на биоту ответственность за то, что она не могла поддержать условия для существования анаэробных организмов, которые на начальных этапах эволюции населяли нашу планету, забывая, какие мощные геологические процессы при этом участвовали в ходе эволюции.

Окончательный вывод: "Итак, биота не поддерживала наилучшие для живущих организмов условия окружающей среды. По некоторым оценкам, за время существования биосферы с лица планеты исчезли миллиарды видов. Живущие ныне несколько миллионов видов сумели приспособиться к изменению условий. Как показал Ч. Дарвин, именно подобное приспособление организмов двигало эволюцию. Есть данные о том, что становлению человека как вида способствовали именно тяжелые условия окружающей среды". Ну и далее очевидный окончательный вывод: может быть антропогенные изменения окружающей среды не так уж страшны, ибо они просто будут способствовать эволюции биоты...

К сожалению, все это неверные рассуждения. В биоте заложен не принцип "эволюции" в примитивном понимании, а принцип "консерватизма". Естественный отбор Дарвина работает прежде всего на поддержание стационарного состояния вида. "Положительные" мутации – это исключительно редкое событие, 99,99 % – это мутации, которые ведут к гибели мутантов. Если бы это было не так, то в биоте давно бы не существовало ни одного вида из когда-то живших на Земле. Ускорение эволюции осуществляется через внешние возмущения – кризисы, во время которых биота оказывается не способной поддерживать стационарные условия своего развития. Но почему же тогда биота не погибла под влиянием изменения условий окружающей среды? Только благодаря очень медленному изменению условий окружающей среды (миллионы лет) биота могла эволюционировать, накапливая "положительные" мутации. Когда мы говорим о "катастрофах" в истории эволюции биоты – это "катастрофы", растянутые на миллионы лет.

Биота, стараясь сохранить условия обитания, демпфирует их изменения и сохраняет их на длительное время, если не в глобальном, то в локальных масштабах. Именно благодаря биоте на Земле сохраняются места обитания для анаэробных организмов, и они успешно дожили до наших дней, хотя ареал их значительно сузился.

Сейчас мы наблюдаем существенные изменения окружающей среды, которые происходят в течение 100 лет. Процессы в истории эволюции и наблюдаемые в текущем столетии – это разные по масштабам времени процессы. Даже те медленные исторические изменения приводили к гибели иногда очень большой части биоты, которая не могла приспособиться, несмотря на всю мощь естественного отбора к изменяющимся условиям среды. Те же быстрые изменения, которые мы наблюдаем сейчас, вполне обоснованно обеспокоили человечество. И даже явные противники концепции В.Г. Горшкова вынуждены признать, что антропогенная нагрузка на биосферу действительно велика. И надо уменьшить расход ископаемого топлива, переходить на альтернативные источники энергии и восстанавливать тропические леса. Но как это сделать при все возрастающей численности населения? На этот вопрос ответа «оптимисты» не дают, хотя они считают что "нахождение предела численности населения – важнейшая проблема фундаментальной экологии".

Как решают эту проблему "оптимисты"? В качестве факторов, которые могут ограничивать численность человечества, они рассматривают два – энергопотребление и обеспечение питанием.

Энергопотребление. Энергопотребление составляет сейчас $E_4 = 1{,}3 \cdot 10^{13}\ {}^{\text{Вт}}/_{\text{год}}$. Вся эта энергия переходит в тепловую. Поверхность Земли $S = 5{,}1 \cdot 10^{14}\ \text{м}^2$. Так что добавка $\Delta E = \dfrac{E_4}{S} = 0{,}025\ {}^{\text{Вт}}/_{\text{м}^2}$. Далее следуют рассуждения о том, что чувствительность современных моделей климата к добавкам энергии составляет 0,7–1,2 Вт/м^2. Отсюда человечество может безбоязненно увеличить свое энергопотребление в 100 раз и более и, следовательно, с этих позиций нет ограничений для роста человечества.

Рассуждение не выдерживает никакой критики, поскольку дело совершенно в другом. Само по себе энергопотребление может вообще не оказывать никакого влияния на биосферу (например, "чистая" атомная энергетика), но оно неизбежно оказывает на нее влияние через использование этой энергии в различных сферах человеческой деятельности. Именно об этом писал В.Г. Горшков. И на климат оказывает влияние не тепловой поток за счет использования энергии, а продукты выбросов в атмосферу в результате современных методов получения энергии.

Питание. Интенсивное ведение сельского хозяйства позволяет получать сейчас до 50 ц/га зерновых (такие урожаи риса и пшеницы получают в Японии в отдельных хозяйствах и в США в отдельных штатах). Если считать, что еще 50 % продовольствия можно получить из океана, то при среднем потреблении в день 6000 кал (куда входит не только питание человека, но и корм скоту и семена) можно будет прокормить 11 млрд. человек. Однако с учетом, что из 6 млрд. населения в настоящее время 1 млрд. голодает, а 2 млрд. недоедает, оптимисты увеличивают в 1,5 раза норму потребления и получают цифру 7,5 млрд. человек.

Но возникает сразу целый ряд вопросов:

1. За счет чего можно получить в среднем по 50 ц/га зернового эквивалента, когда это показатели лучших хозяйств в оптимальных климатических условиях?

2. За счет чего можно обеспечить столько же продуктов питания из океана, сколько получаем на континентах, притом что в настоящее время доля морепродуктов в общем пищевом балансе человечества составляет не более 2 – 3 %, а вся остальная масса пищевых продуктов производится сельским хозяйством?

В лучшем случае средним пределом урожайности может быть 40 ц/га зернового эквивалента. Что касается океана, то 25 %-ная доля морепродуктов это, по-видимому, предел, которого будет непросто достигнуть, не нарушив естественные экосистемы океана. Если принять эти очень непростые для достижения цифры, то в этом случае Земля способна прокормить только 4,9 млрд. человек.

Но здесь следует вспомнить о том, что, по-видимому, самым главным и первым порогом, определяющим численность населения Земли, является не продуктивность биосферы, способная прокормить человечество, а предел допустимого возмущения биосферы. Если предел численности, который определен в работах В.Г. Горшкова, составляет около 600 млн. человек и соответствует 1 % потребления продукции биосферы, то предложенные нами ранее 5 % потребления продукции биосферы без существенного нарушения биосферы, соответствуют около 3 млрд. человек, т. е. в два раза меньше современной численности. Перейти к такому уровню численности населения с учетом всех сложностей проблемы легче, чем к уровню, установленному В.Г. Горшковым.

Таким образом, проблема стабилизации и дальнейшего сокращения численности людей на земле остается первостепенной в вопросе сохранения нашего вида и в целом современной биосферы Земли.

Так можно ли совместить научно-технический прогресс с сохранением устойчивой биосферы? Вопрос не праздный и не тривиальный, учитывая, что именно непредвиденные последствия развития техники и рост человечества привели к современному экологическому кризису.

Но, с другой стороны, именно научно-техническая мощь дает возможность обеспечить долгую и достойную жизнь большому количеству людей. Существует прямая зависимость между энергопотреблением и продолжительностью жизни в данной стране. Все показатели жизни выше в тех странах, где высокий научно-техничес-

кий потенциал. И здесь можно согласиться с "оптимистами", что причины экологического кризиса вовсе не в знаниях и в нашем техническом прогрессе, а как раз в том, что мы все еще многого не знаем, все еще не достигли необходимых высот в технологии, а также, по-видимому, в наследственном грузе наших воззрений, принесенных из прошлого.

Благополучие и существование нашей цивилизации вовсе не обеспечено при всех условиях. Известно, что на Земле были цивилизации, которых нет сейчас. Возможно был прав И.С. Шкловский, объясняя "великое молчание Вселенной" тем, что и на других планетах ее цивилизации прекратили свое существование, не добившись "коэволюции" с природой.

Однако есть на Земле обнадеживающие моменты:

1) отведена ядерная катастрофа;

2) в Индии и Китае с 1969 по 1989 г. коэффициент рождаемости уменьшился с 5,5 до 3 (при 2 и менее в развитых странах);

3) растет экологическое сознание людей. ООН начинает выдвигать проблемы экологии на первое место;

4) увеличивается количество демократических стран, хотя не всегда этот процесс идет успешно.

Поэтому вслед за М.Н. Изаковым можно присоединится к мнению великого гуманиста академика А.Д. Сахарова: "Я верю, что человечество найдет разумное решение сложных задач осуществления грандиозного необходимого и неизбежного прогресса с сохранением человеческого в человеке и природного в природе".

4.7. Ноосфера и возможности построения ее на Земле

Начиная с В.И. Вернадского, многие ученые видят альтернативный путь цивилизации в ликвидации конкуренции между любыми группами людей, включая различные страны и переход к глобально скоррелированной цивилизации на основе ее централизованного управления, т. е. в построении ноосферы. При этом ноосфера рассматривается как возможное новое устройство устойчивого состояния жизни и окружающей ее среды.

Возможно ли в таком понимании построение ноосферы на Земле?

К.Я. Кондратьев и В.Г. Горшков не обнадеживают себя ноосферой. Почему?

В этом случае сохранение всех видов живых организмов вне их природных сообществ представляло бы опасность для окружающей среды в глобальных масштабах, ибо, выйдя из под контроля и развиваясь (размножаясь) в неестественных пропорциях, эти виды могли бы разрушить всю среду обитания значительно быстрее, чем это делает сейчас человек, в силу огромной мощности синтеза и разложения веществ, которую может развить биота в объеме всей биосферы (примеры локальных разрушений окружающей среды при интродукции новых видов многочисленны и хорошо известны). Поэтому остатки возмущенной ранее устойчивой континентальной и океанической биоты, включая все неподдающиеся управлению дикие виды, необходимо было бы уничтожить. Сохранен мог быть только небольшой набор управляемых человеком культурных видов растений и животных. Но тем не менее число их было бы достаточно большим (учитывая современные потребности человечества). В целом число живых и технологических объектов, подлежащих в ноосфере централизованному управлению, в глобальном масштабе и в отсутствии действия закона больших чисел приводило бы к неизбежному росту флуктуаций процессов синтеза и разложения биологической и технологической продукции. Это, в конце концов, должно было бы привести к разрушению окружающей среды и гибели цивилизации.

Однако даже при возможности построения ноосферы в ее вышеописанном глобальном виде с той же устойчивой замкнутостью круговорота веществ и тем же КПД., что и в биосфере, на поддержание этой замкнутости потребовалось бы 99 % всех энергетических и трудовых затрат цивилизации (уже сейчас часто стоимость очистных сооружений составляет около половины стоимости всего предприятия). На удовлетворение нужд цивилизации в условиях ноосферы человечество получило бы значительно меньше энергетической мощности, чем оно может иметь в стационарной биосфере без забот о сохранении окружающей среды и замкнутости круговорота веществ.

Следует иметь в виду и то, что поток информации, потребляемый естественной биотой через посредство солнечной энергии, на 15 порядков превосходит максимально возможные информационные потоки в компьютерах всей цивилизации. Поэтому создать ноосферную регуляцию окружающей среды (даже при уменьшении

численности видов на несколько порядков), столь же эффективную, как биотическая регуляция естественной биоты, нереально. Следовательно, даже при построении на месте естественной биоты полностью безотходных технологических циклов на основе энергетически чистых источников энергии, не изменяющих состояние окружающей среды, последняя будет подвержена неконтролируемым биотой естественным флуктуациям, которые могут за короткий период времени разрушить пригодную для человека окружающую среду. Поэтому ноосфера в описанном выше виде – утопия.

Кондратьев и Горшков делают вывод, что ноосфера как экологическая ниша устойчивого существования и развития цивилизованного человека при наличии научно-технического прогресса возможна только при сохранении естественной биоты на большой территории планеты и сокращении общего энергопотребления и населения планеты до экологически разрешенного уровня.

Однако существуют и другие взгляды на возможность построения ноосферы. Так, группа авторов (М.Е. Виноградов, Г.Е. Михайловский, А.С. Монин), соглашаясь, что "глобально скоррелированную цивилизацию на основе ее централизованного управления" построить невозможно, предлагают свою концепцию ноосферы. По их мнению, кардинальное решение проблемы связано прежде всего с отказом от экологического апартеида, т. е. от противопоставления техносферы и биосферы. Их следует не противопоставлять, а объединять, замыкая технологические циклы не только друг на друга, но и на экологические системы. Необходимо создание экологической инженерии, основная задача которой – разработка экологически замкнутых технологий.

На этом пути, как считают авторы, открываются по меньшей мере два направления. Первое отчасти уже реализуется в виде биологических методов очистки. Дальнейшее движение на этом пути – переход к специально "сконструированным" экосистемам, которые будут требовать значительно меньше затрат энергии. Второе направление заключается в использовании уже действующих природных экосистем в целях переработки и обезвреживания отходов (по типу очистки вод системой естественных прудов). Для этого необходимо выполнение двух условий. Во-первых, всем видам, входящим в такие экосистемы, необходимо выдерживать планируемые

концентрации поллютантов, а во-вторых, некоторые из них должны в процессе своей жизнедеятельности обезвреживать поллютанты. Эволюция природных видов в этом направлении уже идет, особенно в урбанизированных регионах, поскольку естественный отбор в существующих условиях дает преимущество тем мутантам, которые более резистентны к загрязнениям, а возможность использования поллютанта в качестве объекта питания, создает таким видам новую трофическую нишу и выводит их из борьбы за пищу (собственно говоря, когда возникает пищевая конкуренция за поллютанты, проблему очистки можно считать решенной). Однако сложностей, как на первом, так и на втором пути, очень много. Так, например, эволюция путем случайно возникающих селективных преимуществ и естественного отбора протекает слишком медленно, чтобы поспеть за уровнем загрязнений. Поэтому авторы считают необходимым использовать направленную селекцию, т. е. искусственный отбор, применяя для повышения мутабельности разные мутагены. Однако для многих очень сильных токсикантов вряд ли это вообще возможно. Кроме того, это может быть достаточно опасно из-за непредсказуемости результата. Следует также заметить, что очистка в естественных условиях, без использования энергии, протекает значительно медленнее, и решить эту проблему при все возрастающем количестве загрязнений очень сложно. Поэтому идеально теоретическим выглядит вариант, когда должны быть созданы целые "кусты" промышленных предприятий различного профиля вместе с окружающими их очистными экосистемами, каждая из которых реализует эколого-технологический цикл, замкнутый или почти замкнутый, по веществу. При этом как обойтись здесь без больших затрат энергии, совсем не понятно.

Что касается проблем сельского хозяйства, то здесь М.Е. Виноградов с соавторами считают, что мы находимся на пороге новой революции (наподобие неолитической) в этой области. Они видят три этапа грядущей экологической революции.

1) Первый – отказ от монокультур в растениеводстве и переход к поликультурному земледелию. Повысится устойчивость агроценозов и снизится потребность в удобрениях.

2) Второй связан с переходом к беспривязному содержанию скота. Кормежка постепенно заменится подкормкой. Снижаются затраты на строительство и уменьшается опасность эпизоотий.

3) На третьем этапе будет осуществлен переход от одомашнивания и окультуривания видов (в чем суть неолитической революции) к окультуриванию экосистем. Под этим понимается оптимизация определенных видов продукции в экосистеме (правда, остается неясным, как это будет осуществляться).

При прохождении этих этапов экологической революции придется решать две основные проблемы: снижение продуктивности (на единицу площади) при переходе от агроценозов к окультуренным экосистемам (неясно само понятие "окультуренная экосистема") и способы изъятия продукции (т. е. сбор урожая и отлов скота) из окультуренных, а возможно и из диких экосистем.

Как решить первую задачу авторы, видимо, понимая всю сложность и почти полную бесперспективность ее решения без резкого сокращения численности населения, по сути дела, опускают. Зато второй проблеме они уделяют большое внимание, предлагая, по сути, ее идиллическое решение. Они понимают, что механизация сбора урожая и отлова животных невозможна. До сих пор не решена проблема механизированной уборки кукурузы и фасоли, выращиваемых вместе на одном поле, что же говорить об урожае поликультур в естественных условиях. Поэтому авторы предлагают использовать для сбора урожая не механизмы, а животных: млекопитающих, птиц, рыб. С этой целью необходимо выучить язык животных (???), создать на основе роботов системы дрессировки и т. д. Очень перспективным, по их мнению, может оказаться и вживление в мозг электродов, возбуждающих зоны удовольствия и неудовольствия в ответ на радиокоманды. С помощью них можно будет сформировать устойчивый стереотип поведения.

Авторы рисуют идеальную картину окультуренной экосистемы через 50–100 лет. Центр управления сельскохозяйственным производством напоминает режиссерский пульт на телевидении: многочисленные картинки на экранах, передаваемые скрытыми камерами.

Хорошо видно:

- система капиллярных насосов и труб отводит часть соков деревьев в емкости для микробиологической переработки;
- пчелы собирают мед с медоносов, численность и продуктивность которых увеличена в несколько раз (за счет чего?);

- муравьи несут свежую хвою, из нее после биохимической ферментации получают вкусный и богатый витаминами напиток;
- ежи несут грибы;
- мелкие грызуны – семена злаков;
- птицы – ягоды;
- белки – грибы и орехи;
- специально выведенные птицы периодически прибегают или прилетают нести яйца;
- самки травоядных дважды в сутки приходят на пункты дойки;
- собаки и волки охотятся на зайцев и более крупную дичь т.е. часть добычи несут человеку (необходимо изменить инстинкты).

Операторы за пультом наблюдают, поощряя (посредством радиосигналов) наиболее удачные действия и наказывая за грубые ошибки.

Эти же операторы следят, чтобы продукты жизнедеятельности человека, а также токсичные отходы местной промышленности и очистных экосистем распределялись оптимальным образом. Токсичные же отходы предварительно обезвреживаются.

Экосистему такого рода авторы называют нооценозом. Объедение таких нооценозов в глобальном масштабе и приведет со временем к формированию ноосферы. Возникнет саморегулирующаяся система из нооценозов, а операторы станут лишь контролировать и при необходимости корректировать ее функционирование.

Возможна ли такая ноосфера?

КПД естественных ценозов на порядок ниже искусственных. Хотим мы или не хотим, но в этом случае возникнет потребность регуляции по всей планете со всеми вытекающими последствиями, поскольку придется во много раз увеличивать площадь нооценозов. Но даже в этом случае современное население Земли не прокормить и его придется сокращать как минимум в два раза (по оценкам самих авторов). Но стоит ли городить огород и пытаться создавать столь малореальную и скорее всего бесперспективную систему "ноосферы"? Может быть лучше довериться миллионами лет отработанной естественной биосфере, сократив численность населения на ту же величину?

Поэтому очень сомнительным выглядит заключительный лозунг М.Е. Виноградова с соавторами: "Не назад к природе, в пещеры и

шкуры должны мы стремится, а вперед к природе, преобразованной человеком в единую семью живых существ". Так и хочется добавить – наперекор всем законам природы. К сожалению, все это уже было в истории человечества, но, видимо, мало чему его научила.

Существует также точка зрения, что под "ноосферой" следует понимать "коэволюцию человека и биосферы" (Н.Н. Моисеев). Что такое "коэволюция человека и биосферы"? Это включение жизнедеятельности человека в стабильные биохимические циклы биосферы. Это не будет состоянием равновесия в обычном термодинамическом смысле (как это понимает В.Г. Горшков). Это будет некоторое квазиравновесие, характерные времена которого должны быть настолько большими, чтобы общество могло адаптироваться к неизбежно изменяющимся условиям обитания. Но сразу возникает вопрос, как определить тот предел, который бы обеспечивал эту квазистационарность развития биосферы?

Что в конечном итоге предлагает Н.Н. Моисеев?

1) Изучение некой "идеальной ситуации", которая при современном уровне техники способна обеспечить режим совместного развития биосферы и человека. Такая ситуация заведомо не может быть реализована, однако она покажет направление необходимых усилий.

2) Разработку и анализ с позиций реализуемости всех вариантов стратегии.

3) Анализ возможных общественных устройств, способных реализовать стратегию.

4) Построение основ новой политэкономии, в которой должны найти интересы наших потомков.

5) Просвещение, ориентированное на принцип: только грамотное и по-настоящему интеллигентное общество способно выйти на режим коэволюции с природой.

А пока необходимо делать все, чтобы свести к минимуму загрязнение окружающей среды и резко повысить роль государственного начала в управлении рыночной экономикой.

В заключение можно сказать одно. Идея ноосферы, высказанная В.И. Вернадским, очень привлекательна сама по себе, но понимать ее следует, по-видимому, только в том, что человеческий разум должен ограничивать человека в попытках разрушить и переделать биосферу. Мы – дети биосферы, и поэтому основная задача человека – беречь ее.

Часть II.
ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Глава 5. РОСТ НАРОДОНАСЕЛЕНИЯ

Рост народонаселения на Земле является главной экологической проблемой, стоящей перед человечеством. В неолитических поселениях людей, всего 10 000 лет назад, проживало всего 5–10 миллионов человек. Люди не могли тогда оказывать сколько-нибудь существенного влияния на биосферу, как, впрочем, и за всю предыдущую историю своего развития. По оценкам ученых к 1650 г. численность населения на Земле составляла около 500 миллионов человек, после чего скорость роста увеличивалась с каждым последующим десятилетием. К XIX в. она составляла 1 млрд., к XX в. – 2 млрд. В 1987 году она превысила 5 миллиардов человек, а в самом конце прошлого столетия, в 1999 г. – 6 миллиардов человек. Если прирост населения в текущем десятилетии снизится до 1,5 % по сравнению с предыдущим десятилетием (1,7 %), то абсолютный прирост все равно составит 90 миллионов человек в год, и в 2010 г. мы достигнем 7-миллиардного рубежа. В 2025 г. есть все основания ожидать, что численность населения на Земле превысит 8,5 млрд. человек, несмотря на снижение темпов прироста. Следует отметить, что подавляющая величина прироста населения Земли придется на развивающиеся страны (≈95 %).

5.1. Биологические причины роста численности населения Земли

Популяция любых видов бактерий, растений, животных, попадая в благоприятные условия, увеличивает свою численность по экспоненте (см. рис. 5.1). Рост численности популяции переходит значение, соответствующее биологической емкости среды обитания вида, и продолжается еще некоторое время. Из-за своей чрезмерной плотности вид обедняет и разрушает среду обитания. Наступает экологический кризис, в течение которого численность популяции стремительно снижается, причем до уровня более низкого, чем мог-

ла бы прокормить деградированная емкость среды. Это и есть коллапс. За время коллапса среда постепенно восстанавливается, а вслед за этим растет и популяция. Она входит в фазу стабилизации, когда ее численность будет колебаться на уровне, задаваемой новой емкостью среды. Человеческие популяции унаследовали эту биологическую особенность. В наше время самые многочисленные популяции людей находятся в экспоненциальной фазе роста.

Рис. 5.1. Динамика численности любых видов бактерий, растений, животных (по В.Р. Дольнику, 2004).

Всякий раз, когда емкость среды увеличивалась, – осваивались новые приемы охоты, возникало земледелие и скотоводство, осваивались и заселялись новые территории – численность людей возрастала. Известны три глобальных периода повышения численности. Первый – в конце плейстоцена, порожденный освоением приемов охоты на крупных животных и быстрым расселением охотников почти по всему земному шару. Второй – около 10 тыс. лет назад, после того как люди научились земледелию и скотоводству, позволивших людям увеличить свою численность в 20–30 раз. И третий, связанный с начавшейся несколько столетий назад научно-промышленной революцией. Последний период продолжается и в наши дни. Успехи науки и техники позволили увеличить площадь обрабатываемых земель в 2–3 раза, а урожайность в – 7 раз. Именно в этот последний период население Земли стало расти по экспоненте (см. рис. 5.2).

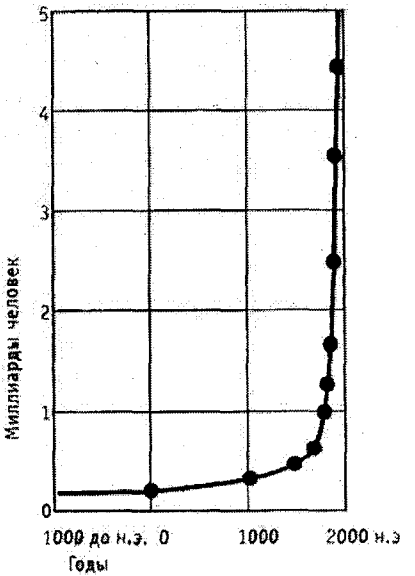


Рис. 5.2. Рост населения Земли в последние 3 тыс. лет (по В.Р. Дольнику, 2004).

В абсолютных цифрах рост по экспоненте очень впечатляет. В последние годы рост численности составлял 90 млн. человек в год. Однако темп прироста в конце прошлого столетия начал снижаться. До 70-х годов он составлял 2 % в год, а в 90-х – 1,7 %. Такой рост был возможен только потому, что благодаря титаническим усилиям удавалось поддерживать больший уровень прироста урожаев на Земле по сравнению с ростом численности населения Земли. Однако к концу XX в. эти усилия, как мы увидим в следующих главах, в значительной мере истощили многие ресурсы, разрушили среду обитания человека на больших территориях и в значительной степени загрязнили ее. Конечно, многие ресурсы Земли еще далеки до полного исчерпания, но возможности обеспечения человечества пищей катастрофически уменьшаются. Поэтому коллапс популяций человечества неизбежен и его темп в первую очередь определит темп падения производства пищи.

5.2. Социальные причины роста численности населения

На протяжении всей своей истории люди всегда представляли ценность в социальном смысле. В самом начале – для поддержания жизнеспособности своего племени, поскольку чем многочисленнее племя, тем ему было легче конкурировать с соседним племенем. В дальнейшем лишние люди при достатке продовольствия могли быть задействованы на трудоемких работах, строительстве городов, крепостей, изготовлении трудоемкой продукции, которую можно было продать за границу. Поэтому общество всегда было заинтересовано в увеличении численности населения.

Даже с переходом на машинное производство большое количество трудоспособного населения могло быть обеспечено работой, поскольку, несмотря на рост производительности труда, потребность в производимой продукции росла быстрее.

Заинтересованы в увеличении численности населения были и правители стран, поскольку чем больше населения в стране, тем большую по численности армию они могли выставить в вооруженных конфликтах с соседями.

Но самое главное – рождение детей было важно и привлекательно для родителей и семьи. В старости опорой родителей были дети, и чем их было больше, тем большая вероятность была того, что их старость будет обеспечена. Кроме того, семья представляла собой достаточно устойчивую ячейку общества, и детский труд был широко распространен, вследствие чего многодетные семьи были более обеспечены, чем малодетные.

Увеличению численности населения всегда сопутствовал рост городов. Города были центрами торговли, развития промышленного производства, развития науки и культуры и требовали все новых притоков населения для обеспечения их процветания.

Однако в последние десятилетия ситуация стала меняться. Быстрый рост населения сопровождается и очень быстрым совершенствованием методов производства. Все более внедряются трудосберегающие технологии, которые исключают ручной труд. Слабо развитые страны под кредиты приобретают технологическое оборудование, чтобы обеспечить занятость населения и экономическое развитие своих стран. Однако оборудование, производимое в развитых странах, требует для обслуживания очень небольшого числа людей.

В связи с этим в таких странах быстро растет безработица, что ведет к социальной и политической нестабильности в развивающихся странах.

Очень быстрый рост больших городов в развивающихся странах тем более способствует нестабильности и быстрому росту преступности. По прогнозу специалистов в 2020 г. больше половины населения Земли будет жить в городах. Такая перспектива является далеко не способствующей стабильному и устойчивому развитию стран. Многие лидеры развивающихся стран стали думать о сдерживании роста численности населения. Возможно, эта одна из объективных причин, почему все-таки темпы роста (правда, не в абсолютных цифрах) медленно, но снижаются.

Понятно, что рост населения не может продолжаться без предела и ясно, что рано или поздно рост численности населения должен прекратиться. Но если мы будем просто ждать, пока подействуют естественные, биологические ограничения численности населения, то, возможно, что человечество придет к голоду, снижению уровня жизни, эпидемиям, политической нестабильности, вооруженным конфликтам. Но главное – это может привести к разрушению биосферы, т.е. вызванному нами глобальному кризису, который может продлиться очень долго и совсем необязательно, что человек как вид сохранится после его завершения.

5.3. Социальные пути снижения численности населения

Одним из достаточно очевидных, но недостаточно изученных явлений нашего времени является демографический перелом, связанный с развитием промышленного производства и повышением уровня жизни. Во всех странах, где достигается достаточно высокий уровень промышленного производства и жизни, падает как смертность, так и рождаемость. Уменьшение смертности можно объяснить улучшением питания, образа жизни и более высоким уровнем медицинского обслуживания. Однако вслед за снижением смертности всегда сокращается и рождаемость. При этом рождаемость часто падает не просто до уровня, при котором она компенсирует смертность, но и ниже этого уровня.

Существует точка зрения, что люди всегда хотели освободиться от бремени воспитания детей, но не имели подходящих (или эф-

фективных) методов контроля рождаемости. Однако, с другой стороны, существует и точка зрения, что дети всегда желанны. Этому способствовала и религия, особенно католицизм. Но даже в странах с очень сильным влиянием католицизма на население (Италия, Австрия и др.) наблюдается спад рождаемости. Очевидно, что по мере экономического развития в действие вступают некоторые другие социальные факторы, которые способны нейтрализовать влияние религиозных норм.

Наиболее серьезным социальным фактором, по-видимому, является повышение общественного статуса женщины. На острове Ява в Индонезии, где женщины имеют больше прав и получают лучшее образование по сравнению с другими мусульманскими регионами, рождаемость падает. С другой стороны, в Пакистане и Бангладеш, где положение женщины очень низкое, рождаемость остается высокой.

Вторым возможным фактором является независимость родителей от детей в старости. В развитых странах пожилые люди хорошо обеспечены из фондов социального обеспечения и личными сбережениями, которых легче достигнуть без большого количества детей.

Возможно, сокращение детской смертности также влияет на уменьшение рождаемости. Ранее многих родителей в развивающихся странах побуждает иметь многодетные семьи отсутствие уверенности в том, что они смогут вырастить до соответствующего возраста, по крайней мере, двоих детей.

Способствуют сокращению рождаемости, по-видимому, и законы, запрещающие использование детского труда и обязательности среднего образования. Во многих развивающихся странах законом разрешен детский труд и нет законов об обязательности образования. Поэтому дети являются источником пополнения доходов семьи. Введение таких законов и строгий надзор за их исполнением может способствовать сокращению рождаемости, поскольку родителям придется довольно долго кормить, одевать детей и платить за их обучение. Кроме того, важна доступность высшего образования для детей и особенно девочек. В этом случае и браки бывают более поздние, и реализации полученных знаний большое количество детей не способствует, особенно у женщин.

Возможно, играют роль и такие факторы, как наличие в стране обязательной военной или государственной службы, поскольку юноши вступают в брак в более позднем возрасте, ограничение законом возраста вступления в брак, стимулирование грудного вскармливания детей и др.

Независимо от того, каковы глубинные социальные механизмы снижения рождаемости, во многих странах Мира были введены программы снижения рождаемости. Эти программы предусматривали широкую информацию населения о проблемах высокой рождаемости, в том числе и о том, что только при малом количестве детей родители могут дать им хорошее воспитание и образование, обеспечивали доступность противозачаточных средств, а также активное вовлечение женщин в общественную жизнь. По различным оценкам эти программы привели в немногих странах к снижению роста численности населения с 4–5 до 2–3 % и ниже. При этом по этим же оценкам основной успех достигался все-таки за счет повышения уровня жизни в этих странах (скорее всего вследствие повышения социального статуса женщины) и только не более 40 % – за счет введения программ.

Однако в большинстве стран эти программы не имели успеха. Так, в Пакистане, Непале, Кении они дали нулевой результат. По-видимому, программы работают только в тех странах, которые экономически, социально и, скорее всего, естественно подготовлены к их принятию. Тем не менее исследования Всемирной организации по проблемам рождаемости показывают, что в большинстве развивающихся стран значительная часть молодежи уже имеет желание иметь семьи небольшой численности. Это вселяет некоторый оптимизм.

5.4 Естественный, или биологический, путь сокращения численности населения

Путь снижения численности темпов роста, а затем и численности населения, о котором мы говорили в предыдущем разделе, связан с социальными и политическими аспектами жизни человеческого общества. С биологической точки зрения этот путь может оказаться и неэффективным, и пока особого оптимизма в отношении этого пути нет. Но возможен и естественный вариант сокращения численности населения Земли.

Рассмотрим биологические основы такого пути по В.Р. Дольнику (2004), известному экологу, автору великолепной книги "Непослушное дитя биосферы".

Возрастая численно, любой вид усиливает свое давление на среду обитания, экосистему, а в нашем случае – биосферу. В ответ среда обитания, включающая в себя множество других видов, в том числе пищевых объектов, конкурентов и потребителей того, о ком идет речь, отвечает увеличением встречного давления. Биосфера, включающая в себя все виды на Земле, много сильнее каждого в отдельности вида и поэтому рано или поздно она стабилизирует его численность, а если требуется, то и сокращает ее до приемлемого для нее уровня.

Биологи разделяют воздействующие при этом на вид факторы на сигнальные и ультимативные. Первые косвенно указывают виду о том, что его численность дошла до допустимой границы. Действие вторых – прямое и беспощадное. Рассмотрим сначала группу сигнальных факторов.

Территориальность. В природе многие виды заблаговременно снижают свою численность, получив сигнал, что она приближается к верхнему пределу. Для каждого вида среда обладает своей биологической емкостью, позволяющей популяции иметь ту или иную плотность населения. Емкость среды непостоянна, причем всегда важен тот фактор, который оказался в минимуме.

В качестве примера можно рассмотреть, как регулируется численность птиц, гнездящихся в дуплах соснового леса. Таких птиц в сосновом лесу мало, но не потому, что там мало пищи, а потому что в соснах редки дупла. Этот фактор и ограничивает емкость среды для этих птиц. Можно развесить дуплянки и снять этот ограничивающий фактор. Численность птиц начнет возрастать, но не до уровня ограничения пищей, а только до уровня, который ограничивается фактором территориальности.

Самцы делят лес на участки и представления их о допустимом размере участка всегда преувеличенные. Пищи на участке всегда много больше, чем нужно семье. Раздел территории идет между самцами, и все достается более агрессивным. Остальные самцы остаются без участков. У самки генетическая программа контролирует допустимый размер и качество предлагаемого ей самцом участ-

ка. Самца с плохим участком или вообще без участка она отвергает. Так регулируется численность на нужном уровне, избегая мало приятной встречи с ультимативными факторами.

У человека территориальные программы не разрушены полностью. При всяком подходящем случае человек стремится обзавестись своей территорией. Люди выделяют групповые территории (как обезьяны) и отстаивают их очень активно. У первобытного человека групповая территориальность была, как считают, главным регулятором численности.

При этом проявляется один из важных факторов, присущий большинству видов животных, – агрессивность. Суть агрессивности в том, что при общении каждая особь стремится занять по отношению к другим более высокое, доминантное положение. Выяснение отношений приводит к самоорганизации группы в иерархическую пирамиду с доминантами наверху. При увеличении плотности популяции или уменьшении емкости среды агрессивные стычки значительно учащаются и служат сигналом о неблагополучии. Этот механизм изучен на очень многих видах и проявляется он в огромном разнообразии форм.

Человек при этом один из самых агрессивных видов. В припадках ярости человек может убить соплеменника. Человеку свойственно создавать и самые сложные иерархические структуры. При увеличении численности у всех видов усиливается агрессивность, учащаются агрессивные стычки. Возникает субъективное ощущение, что "нас что-то слишком много" и "тут кто-то лишний". Это ощущение опережает действительный рост плотности и выступает как предваряющий сигнал. В популяции увеличивается доля особей, попавших в состояние стресса и неврозов. Сигнал "тут кто-то лишний" запускает имеющуюся почти у всех видов и служащую многим целям программу "найди своих и отделись от чужих, вместе со своими прогони чужих". В естественных условиях так и происходит. В экспериментальных условиях, когда удается скрыть, кто свой, кто чужой, животные разделяются по любым второстепенным, в том числе и ложным признакам.

У людей сейчас все происходит так же в самых разных вариациях (от скопления фанов на стадионах до межгосударственных отношений). При этом с древности до наших дней ученые отмеча-

ют, что войны по политическим мотивам менее жестоки, по сравнению с теми, которые связаны с популяционными взрывами. При этом у людей, как и у животных, распространяются такие формы как грабежи, воровство, с одной стороны, и создание таких запасов для себя, что бы как можно меньше осталось другим – с другой. Утрачивается осторожность, страх. У уток, например, с помощью кольцевания обнаружили, что в период высокой плотности они чаще начинают гибнуть от самых случайных причин – хищников, охотников, столкновения с проводами и т.п. У человека утрата осторожности при нарастающем неблагополучии наиболее наглядно проявляется в форме бунтов, когда люди вдруг теряют страх перед властью, полицией, толпами идут навстречу пулям и смерти. У подавленной части популяции снижается забота о собственной гигиене, увеличивается количество и опустившихся животных (потенциальные носители и распространители паразитов и инфекций в популяции). У людей при скученности и недостатке пищи тоже появляется большое количество опустившихся личностей.

Нашествия и инвазии. Это еще один, даже более удивительный механизм. Поколения, находящиеся в стрессовом состоянии, порождают потомство, у которого реализуется программа, заблокированная при лучших условиях жизни. Наиболее яркий пример саранча, которая в благоприятных условиях живет по территориальному принципу. Но при высокой численности саранча откладывает яйца, из которых рождается "походное" потомство. Эти потомки утрачивают территориальность, собираются вместе в стаи. Стаи растут, достигая огромных размеров (миллионов особей), после чего начинают куда-то двигаться. Стаи походной саранчи вторгаются сначала в места, занятые другими популяциями (это называется нашествием), а затем и в области, зачастую непригодные для жизни (это называется инвазией), и, в конце концов, погибают. Сходно ведут себя в подобной ситуации лемминги, а в менее яркой форме инвазия есть у многих видов млекопитающих и птиц. Цель нашествия и инвазии – выбросить за пределы переуплотняющейся популяции избыточное молодое поколение. Участники нашествия становятся как бы бесстрашными, не боятся погибнуть, особенно коллективно.

У людей при сходных обстоятельствах происходят подобные же изменения: молодежь не хочет жить так, как жили родители, об-

разует группы, которые легко превращаются в очень агрессивные орды, стремящиеся куда-то двигаться и что-то совершать, обычно разрушительное. Возможно, что в основе некоторых нашествий кочевников Центральной Азии лежал инвазионный механизм.

Коллапсирующие скопления. Эта форма регуляции численности менее драматична. В этом случае при увеличении численности часть особей, утрачивая территориальность, одновременно снижает и агрессивность. У этих особей начинает преобладать другая программа, противоположная агрессивности, программа сближения и объединения без агрессивности. Особи собираются в плотные группы, и эти группы либо кочуют, либо держатся на одном месте. В таких скоплениях животные или совсем не размножаются, или размножаются очень ограниченно, меньше, чем нужно для воспроизводства. Насекомые перестают даже питаться. Главным занятием в таких группах становится разного рода общение.

У людей эта форма наиболее ярко проявляется в урбанизации. Воспроизводство населения везде в городах резко падает. Город вбирает из деревни молодежь с высокой потенциальной плодовитостью и снижает ее до очень низкого уровня. (Так было еще в древнем Риме.) Города без притока людей извне сокращали бы свою численность примерно в два раза в течение всего двух поколений. Города действуют как демографические "черные дыры". В середине 1990-х годов 43 % (2,3 млрд.) населения мира проживало на урбанизированных территориях, в то время как в 1950 г. доля городского населения составляла всего 29 %. В настоящее время уже более 50 % населения Земли живет в городах.

Безудержный рост городов происходит ныне в развивающихся странах, а не в индустриально развитых странах с низкой рождаемостью. Это наблюдается и в Азии, и в Африке, и в Латинской Америке. Очень часто люди не находят себя в городах и влачат там жалкое существование и тем не менее не покидают города. Урбанизация, сопровождающаяся коллапсированием в городах, может быть самым естественным, простым и безвредным путем снижения рождаемости в современном мире и мире будущего. Наиболее урбанизированными регионами являются Северная и Западная Европа, где уровень городского населения превышает 80 %. И это регионы наиболее низкой детской рождаемости.

Снижение плодовитости. Заблаговременное снижение численности у животных может быть связано и с изменением структуры брачных отношений и отношения к потомству. При возрастании численности потомство зачастую перестает быть главной ценностью для членов популяции, включая родителей. Это проявляется в том, что особи избегают размножения, откладывают яйца куда попало, меньше заботятся о потомстве, и даже его умерщвляют и пожирают. Лишенные достаточной родительской заботы детеныши (в том числе и у обезьян) вырастают нерешительными и агрессивными. Они испытывают затруднение в образовании пар, часто не создают устойчивых пар, в свою очередь плохо заботятся о своем потомстве. В результате рождаемость падает, а смертность растет.

Сходные явления наблюдаются и у людей. Все больше брошенных детей. Все больше доля матерей одиночек, которые воспитывают одного ребенка. Дети часто повторяют путь родителей. Во многом это является следствием эмансипации женщин. Возможно, это действительно наиболее безболезненный путь снижения рождаемости. Это имело место и в древнем мире. Так, в Риме цезари издавали указы, призывающие римлянок рожать детей, но они были малоуспешными. Эмансипация женщин сопровождается обычно внешней эротизацией общества. Вопреки обывательским представлениям, показная эротизация не только не приводит к увеличению рождаемости, но, напротив, ее сокращает.

Итак, есть основания думать, что у людей, как и у многих животных, действуют механизмы саморегуляции численности. (При одном ребенке в семье численность населения может сократиться вдвое за 35 лет.) Беда человека в том, что он, с одной стороны, является видом с самой медленной сменой поколений, а с другой – способен очень быстро изменять емкость среды. Поэтому на отдельных этапах регуляция отстает от той, что требует среда. А в этом случае должны вступить в действие ультимативные факторы. Такие, как голод при сокращении количества пищи, в результате чего увеличивается смертность и снижается рождаемость; ухудшение среды обитания вследствие загрязнения ее до уровней, влияющих на состояние здоровья и самой жизни человека, что также ведет к увеличению смертности и снижению рождаемости. Размножение хищников и возбудителей бактерий также могут влиять на

динамику численности населения. Есть виды, у которых хищники – главный регулятор численности. Человеку они не страшны. Но вот возбудители болезней могут стать одним из главных регуляторов численности нашей популяции.

Интересен взгляд биологов и на причины того, почему в промышленно развитых странах преобладают малодетные семьи. Есть основания полагать, что большинство промышленно развитых стран постепенно шли по пути прогресса. Детская смертность снижалась медленно, также медленно росла и продолжительность жизни. По мере того как популяция становилась способной обеспечивать свою численность при более низкой рождаемости, снижалась и последняя. Все развитые страны прошли период демографического всплеска, прежде чем стабилизировали свою численность. Развивающиеся страны встали на путь научно-технической революции совсем недавно, при этом они не сами все изобретают, а заимствуют плоды прогресса у развитых стран, причем самые совершенные результаты прогресса. В Европе, например, детская смертность, а следом и рождаемость сокращались постепенно и плавно в течение многих десятков лет. В развивающихся странах созданные на основе успехов медицины программы вакцинации детей от различных болезней удается осуществить всего за несколько лет. В результате, если еще вчера, как и тысячи лет назад, в семье из 6–11 детей умирало 4–9, то сегодня почти все они живы. Высокая рождаемость, вчера еще жизненно необходимая в таких популяциях для компенсации высокой смертности, сегодня стала избыточной. Однако рождаемость не смертность, ее изменить быстро невозможно. Она контролируется биологическими механизмами, очень сложной популяционной системой, поддержанной бытом, традициями, религией. Популяции требуется время, чтобы привести рождаемость в соответствие с новым уровнем смертности. И в течение этих лет будет происходить демографический взрыв. Можно считать, что развитые страны сами породили демографический взрыв в развивающихся странах, дав им сильно действующее "лекарство" против детской смертности. По мнению биологов непосредственной причинной связи между "бедностью" и многодетностью нет. Поэтому биологи и против государственного вмешательства в регулирование рождаемости. Плодовитость популяции контролируется популяци-

онными механизмами, действующими помимо (а зачастую и вопреки) нашего коллективного сознания. Именно поэтому большинство социальных программ по снижению рождаемости оказались неэффективными. По мнению биологов даже те программы, которые объявлялись успешными, таковыми при более детальном анализе не являлись. Наша страна очень хороший пример в этом плане. Все стимулы (пропаганда, награждение многодетных матерей, запреты на аборты, непродажа эффективных противозачаточных средств, пособия матерям одиночкам, внеочередные квартиры многодетным семьям и т.д.) ни к чему не привели. И можно согласиться с тем, что нужны не принудительные программы, а создание таких условий в обществе, при которых каждый человек максимально свободен от других в решении, сколько ему иметь детей, обеспечен соответствующей информацией с детства, и ему доступны все современные средства как препятствующие, так и способствующие зачатию.

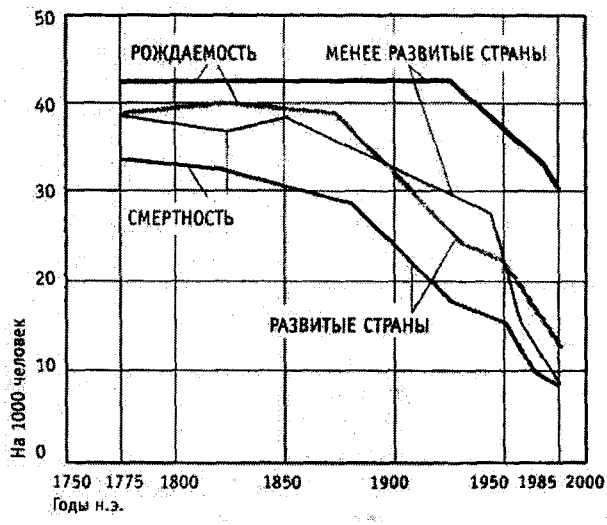


Рис. 5.3. Изменение рождаемости и смертности в развитых и развивающихся странах (по В.Р. Дольнику, 2004).

Программы ограничения рождаемости в странах, находящихся в состоянии демографического взрыва, соответствуют реальным нуждам, и мотивы, ратующие за них людей, понятны. Но совсем не

понятны мотивы людей, ратующих за стимуляцию рождаемости на Земле в период демографического взрыва.

5.5 Что может ожидать человека в обозримом будущем?

Дать однозначный ответ на поставленный вопрос практически невозможно. Однако общие соображения на будущее человека как биологического вида было высказано В. Дольником в ранее указанной книге. И его сценарий, основанный на законах экологии, представляется наиболее обоснованным.

Уже готовые перейти в состояние коллапса высокоразвитые популяции станут, сохраняя хороший уровень жизни, плавно снижать свою численность путем небольшого снижения рождаемости. Другие популяции будут, сокращая сельское население, коллапсировать в городах, для которых свойственна низкая рождаемость. В третьих популяциях усилится расслоение на верхушку общества, удерживающуюся на приемлемом уровне жизни, и прозябающие в полуголодном существовании коллапсирующие массы. В последних популяциях возможны голод, эпидемии, образование инвазирующих групп, а отсюда не исключена возможность опустошительных межнациональных и гражданских войн. Если бы этим народам была оказана помощь со стороны высокоразвитых, они коллапсировали бы в более мягких условиях. Но возможна ли такая помощь и согласятся ли ее принять эти популяции – это не факт.

Легче всего пройдут коллапс популяции, развитые в техническом отношении, с низкой рождаемостью. Они уже многие десятилетия находятся либо в состоянии очень слабого прироста численности, либо сохраняют ее на одном уровне, либо даже слегка сокращают. У таких народов существует определенный процент женщин, имеющих много детей или не имеющих их вовсе, но большинство рожают по два, реже одному ребенку за жизнь. Если (при сохранении той же доли многодетных и бездетных матерей) установка большинства сдвинется (чаще один ребенок, чем два), то популяция начнет плавно сокращаться, причем может делать это довольно быстро. При среднем числе детей чуть больше одного (это "чуть больше" должно быть равно детской и репродуктивной смертности) популяция будет сокращаться на 2 % в год. Вдвое такая популяция может сократиться за 35 лет, а в течение 100 лет в 10

раз. Произошло бы это не более заметно, чем современный рост численности, имеющий такие же темпы. Таким образом, биологическая стратегия сокращения численности не апокалиптична, если не будут реализовываться небиологические сценарии.

Естественно, всех волнует: сохранится ли цивилизация при такой низкой численности человечества. Но уровень цивилизации зависит не от численности людей, а от плотности их в очаге цивилизации. Величайшие открытия науки и техники, высочайшие достижения культуры человечество создавало, имея численность популяций, которая нам сегодня кажется невероятно малой. Не говоря уже о древних Греции, Риме или Китае, даже во времена Шекспира, Ньютона на Земле жило не более 500 млн. человек, а цивилизованных и того меньше. При современных (а тем более будущих) средствах коммуникации люди, в отличие от прежних времен, не будут чувствовать себя разделенными большими расстояниями, и может именно тогда будет реальная возможность создания на Земле ноосферы.

Глава 6. ПРОБЛЕМА СОХРАНЕНИЯ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

Проблема сохранения биоразнообразия на Земле является одной из важнейших глобальных экологических проблем, с которой столкнулось человечество. Она тесно связана с проблемой роста народонаселения на Земле. Как биологический вид человек появился в эпоху наибольшего за всю историю Земли биологического разнообразия. В настоящее время он же, человек, стремится свести разнообразие организмов к уровню, которого не было с конца мезозойской эры. Сокращения разнообразия живой природы, по мнению многих ведущих экологов мира, является самым главным в происходящих ныне изменениях окружающей среды. Это действительно так, ибо это единственный, необратимый процесс. За последние 400 лет исчезли 484 вида животных и 654 вида растений. Например, скорость исчезновения видов млекопитающих в XX столетии превышала максимальные скорости, зафиксированные в геологическом прошлом, в 40 раз. Под угрозой исчезновения находится более 30 000 видов животных и растений.

6.1. Понятие видового разнообразия и его показатели

Биоразнообразие означает разнообразие всего живого на нашей планете – от генов до экосистем. Оно включает миллионы видов животных, растений, микроорганизмов, населяющих Мировой океан, реки и озера, сушу и почвы. В него входит все разнообразие организмов – от микроскопических водорослей и мельчайших беспозвоночных животных до гигантских деревьев, высота которых превосходит 100 м, и самых крупных животных, живущих сейчас на Земле, – синих китов и слонов.

Генетическое разнообразие очень велико, ибо вариации генов внутри видов чрезвычайно разнообразны. Исследование генетического разнообразия практически находится лишь на начальном этапе и, по-видимому, даст нам в этом направлении много интересных открытий.

Видовое разнообразие также велико. Ученые до сих пор не могут придти к единой оценке числа видов, живущих на Земле. Наиболее авторитетная оценка, выполненная в 1995 г. по заданию ЮНЕП, дает наиболее вероятное количество видов – около 13–14 млн., из которых описано менее 2 млн.

Любые экосистемы имеют внутреннюю структуру, которая характеризуется числом видов, входящих в экосистему, их численностью, степенью доминирования каждого вида, различными взаимоотношениями видов (трофическими, конкурентными, симбиотическими и т.п.). Видовое разнообразие сообществ животных и растений тем больше, чем обширнее и разнообразнее диапазон доступных ресурсов и чем более специализированы виды в отношении своих потребностей.

В поддержании видового разнообразия сообществ животных важную роль играют хищники. Они поддерживают низкий уровень численности отдельных видов, что приводит к снижению интенсивности межвидовой конкуренции за одни и те же ресурсы и к повышению видового разнообразия, которое может даже оказаться большим, чем в сообществах с низкой конкуренцией. Считается, что доступность ресурсов, конкуренция и хищничество во многом определяют структуру сообществ и экосистем в целом.

Антропогенное воздействие на экосистемы в большинстве случаев приводит к исчезновению из них наиболее специализированных видов с узкими экологическими спектрами. После этого следует сокращение трофических связей, упрощение трофических сетей, высвобождение части ресурсов, экологических ниш и, в конечном плане, упрощение структуры экосистем.

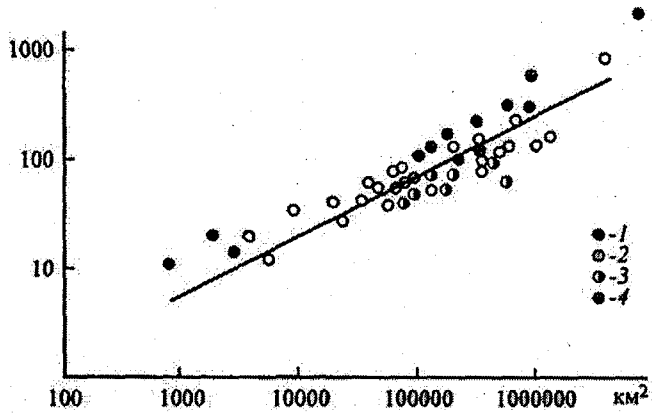


Рис. 6.1. Зависимость числа видов рыб в реках от площади их бассейна
1 – Ю. Америка, 2 – Африка, 3 – Европа, 4 – Азия (по J.D. Allen, 1995).

К настоящему времени многое известно о закономерностях видового богатства животных в разных местах обитания. Установлено, что структуру сообществ во многом определяет также климат и другие параметры местообитания. Общей закономерностью является возрастание числа видов в сообществах в направлении от высоких широт к низким. Кроме того, число видов в сообществах закономерно увеличивается с увеличением площади островов, озер, бассейнов рек (рис. 6.1), вершин гор, древостоя и т.д. Зависимость числа видов (n) от площади местообитания (S) может быть аппроксимирована функцией:

$$n = a \cdot \ln S + b,$$

где a и b – константы уравнения, определяемые конкретным местообитанием сообщества.

Структуру сообществ можно определять просто числом видов, входящих в сообщество. Однако при этом теряется информация о редкости одних видов в сообществе и широкой распространенности других. Вот почему чисто видовой индекс разнообразия сообщества лишь приближенно описывает его структуру. Поэтому был предложен ряд других индексов разнообразия, среди которых наибольшее применение получил информационный индекс Шеннона:

$$H = -\sum(N_i/N) \lg_2(N_i/N).$$

В этом уравнении H – индекс разнообразия, бит/экз.; N_i – численность каждого i-го вида; N – общая численность всех видов.

Индекс разнообразия Шеннона учитывает и число видов, и степень их доминирования. Более сложно организованным системам характерны и более высокие величины индекса разнообразия. Снижение значения индекса показывает, что структура становится менее однородной и возрастает доминирование каких-то ее отдельных элементов. Этот индекс разнообразия представляет собой и некую оценку способности системы к взаимодействиям между элементами внутри нее, но не отражает возможное число таких связей. Поэтому было введено понятие связности, которое отражает число реальных связей, обеспечивающих единство и функционирование системы.

Включить связность в оценку разнообразия можно, использовав индекс разнообразия, предложенный Симпсоном:

$$D = (1 - S_i)/S_i,$$

где $S_i = \sum p_i$, а p_i – вероятность того, что любой индивидуум, взятый из сообщества, принадлежит к виду *i*. Индекс Симпсона, по мнению специалистов, сам по себе не особенно полезен, но служит отправной точкой для оценки связности системы. Индексы разнообразия Шеннона и Симпсона хорошо коррелируют между собой. Число реальных связей в любых системах всегда ограничено, и с повышением разнообразия системы ее связность снижается. Это очень важный вывод, поскольку увеличение связности системы уменьшает ее устойчивость и, наоборот, уменьшение связности увеличивает устойчивость системы. Потому системы с большим биологическим разнообразием считаются более устойчивыми.

Для примера в табл. 6.1 приведены индексы разнообразия в водоемах разной трофности.

Таблица 6.1.

Значения величины индекса разнообразия (*H*) в водоемах разной продуктивности (*Pp*)

Трофность водоема	*Pp*, ккал/м² год	*H*, бит/ экз.
Ультраолиготрофные	20 – 100	3,52 – 2,49
Олиготрофные	100 – 300	2,49 – 1,96
Мезотрофные	300 – 1 000	1,96 – 1,52
Эвтрофные	1 000 – 3 000	1,52 – 1,20
Гиперэвтрофные	3 000 – 6 000	1,20 – 1,03

При загрязнении или эвтрофировании водоемов разнообразие сообществ водных животных понижается, структура их упрощается, и они включают виды широкими экологическими спектрами (эврибионтные организмы). Биомасса водоемов при упрощении структуры биосистем возрастает. Но возрастают и флуктуации биомассы как сезонные, так и межгодовые, т.е. возрастает вариабельность динамики биомассы (ВДБ). Этот показатель можно рассматривать как показатель меры устойчивости экосистемы. Чем больше размах сезонных и многолетних колебаний, тем менее устойчива система, и, наоборот, с уменьшением размаха колебаний возрастает устойчивость системы. Таким образом, при увеличении степени эвтрофирования водоемов уменьшается устойчивость их экосистем.

В условиях постоянства окружающей среды развиваются экосистемы с высокой степенью разнообразия. Высокая степень разнообразия приводит в действие факторы, обеспечивающие равновесие или устойчивость экосистемы. И дело тут не только в том, что пи-

щевые сети более устойчивы, чем пищевые цепи. Главное в том, что именно сложные сети обеспечивают минимум случайных флуктуаций в балансе продукции и деструкции органического вещества в экосистемах.

6.2. Ценность биоразнообразия в целом и каждого вида в отдельности. Основные причины исчезновения видов

Как мы уже показали, уничтожение видов и уменьшение биоразнообразия экосистем приводит к ухудшению регуляции окружающей среды, а следовательно, к понижению устойчивости как отдельных экосистем, биомов, так и биосферы в целом. Если мы не хотим привести биосферу к антропогенно обусловленному кризису, мы уже только по этой причине должны рассматривать проблему сохранения биоразнообразия на Земле как одну из самых важных проблем.

Уничтожение видов – это уничтожение и части генофонда биосферы, а это означает, что не появятся организмы, которые могли бы появиться в эволюционном развитии биосферы. Таким образом, мы, уничтожив тот или иной вид, прерываем один из возможных эволюционных путей развития биоты. Имеем ли мы на это право?

К настоящему времени идентифицировано около полутора миллионов видов растений и животных. По-видимому, на Земле живет еще более 10 миллионов видов, нам не известных. Эти виды могут быть источником еще неведомых человеку материальных благ – продовольствия, лечебных средств и других, важных для человека, предметов потребления. Потеря видов – это потеря этих потенциальных источников.

Современная медицина проявляет особый интерес к биологическим ресурсам в надежде получить новые средства лечения многих болезней, которые в настоящее время излечиваются с трудом. Потенциально любой вид может быть использован в медицине. В настоящее время очень большой процент лекарств содержат вещества, обнаруженные в дикорастущих растениях. Не менее важно разнообразие дикорастущих предков сегодняшних сельскохозяйственных растений для получения новых более устойчивых сортов. Фермеры проявляют все больший интерес к их генетическому разнообразию.

Наконец, учитывая, что эволюция человека протекала в условиях огромного разнообразия окружающей его природы, не исклю-

чено, что это разнообразие является непременным условием сохранения его психического здоровья. Красота, присущая биоразнообразию, служит источником вдохновения для всех людей. Без нее потеряли бы смысл многие наши увлечения, такие, как рыбалка, охота, сбор грибов, просто пешеходные прогулки. Что было бы с человеком, его настроением и мироощущением, если бы вместо красивого озера с поросшими травой берегами или соснового леса с мелким кустарником и почвой покрытой мягким мхом, он увидел вокруг себя только кучи мусора или исковерканную ямами землю.

Каковы причины сокращения биоразнообразия?

К основным можно отнести следующие причины:

– рост населения и естественное отвоевывание территорий человеком у дикой природы;

– экстенсивные формы ведения сельского хозяйства за счет расширения пахотных земель и земель используемых для скотоводства;

– нещадная эксплуатация лесных ресурсов;

– осушение болот;

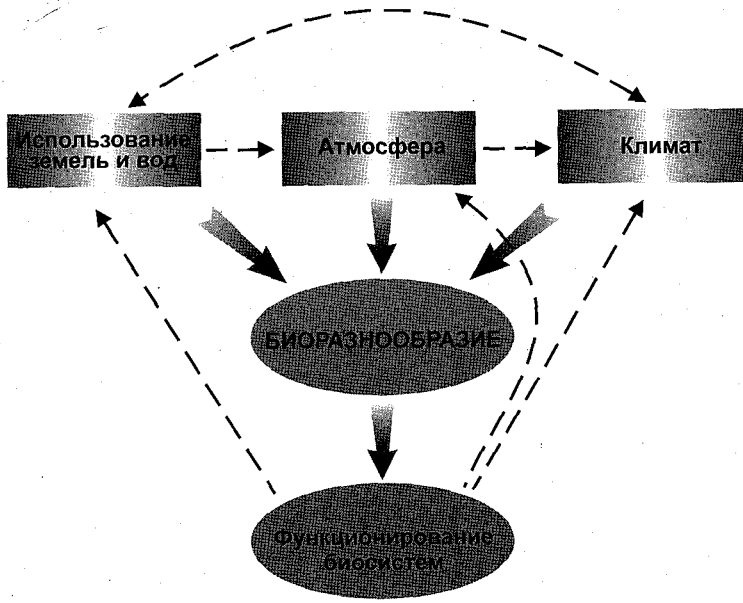
– интродукция новых видов, сопровождающаяся вытеснением или истреблением местных видов;

– добыча полезных ископаемых, особенно открытым способом и крупное промышленное строительство;

– развитие транспорта;

–загрязнение среды.

Однако в каждом конкретном случае причин может быть значительно больше, о чем, например, свидетельствует диаграмма, указывающая на причины уменьшения числа видов сосудистых растений в Финляндии (рис. 6.2).



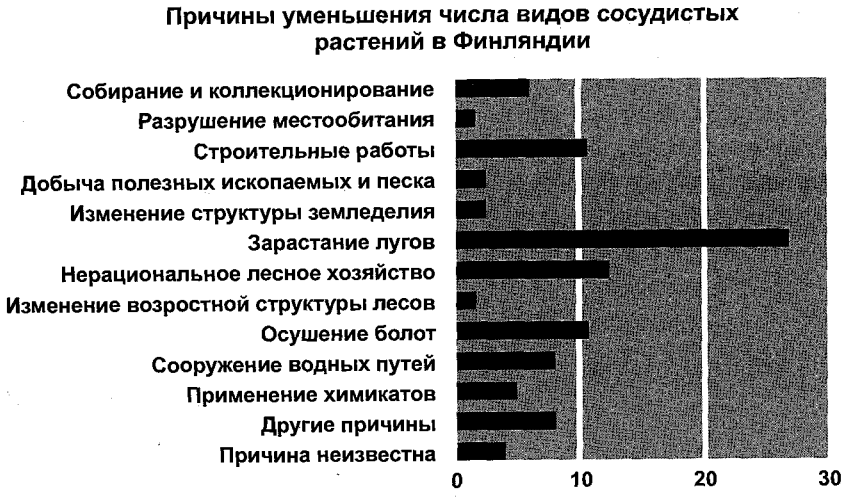


Рис. 6.2. По А.К. Бродскому, 2002.

Самая страшная угроза биоразнообразию на Земле в настоящее время – это вырубка дождевых тропических лесов. По оценкам специалистов, от уничтожения лесов погибает от 4 000 до 6 000 видов в год, что в 10 000 раз выше, чем естественная фоновая скорость вымирания видов до появления человека на Земле.

Не меньшую опасность для потери разнообразия видов представляют вырубка лесов и осушение болот в умеренных поясах Земли. Сейчас во многих странах мира уничтожено более 60 % лесов, особенно в Африке (Нигерия, Южно-Африканская республика, Мозамбик), Азии (Бангладеш, Индия), Австралии, Южной Америке (Аргентина, Парагвай). Наибольшие площади лесов сохранились еще в Южной Америке (47 % территории) и России (45,5 %).

Большую опасность для разнообразия видов представляет и загрязнение окружающей среды. Например, кислотные дожди, связанные с загрязнением атмосферы диоксидами серы и азота, привели к гибели и деградации хвойных лесов в Западной Европе, США, Канаде со всеми вытекающими отсюда последствиями потери разнообразия видов этих лесных экосистем. То же произошло и с экосистемами целого ряда озер в этих странах.

6.3. Пути решения проблемы сокращения биоразнообразия на Земле

Что делается и что нужно делать, чтобы решить эту глобальную проблему сохранения биоразнообразия на Земле? Прежде всего, чтобы замедлить уменьшение разнообразия видов необходимо обладать надежной информацией о состоянии природных экосистем. Во многих странах мира были приняты исследовательские программы по биологическому разнообразию. В России такая программа была утверждена в 1993 г., однако отсутствие финансирования так и не позволило поставить исследования в этом направлении на должный уровень.

Изучение биоразнообразия проводится, как правило, по следующим основным направлениям: 1) исследование территорий и оценка биотопов, 2) инвентаризация биотопов с особым вниманием к ключевым из них, т.е. к таким, которые особенно важны для сохранения биоразнообразия, 3) оценка состояния и мониторинг редких видов и видов, численность которых угрожающе сокращается, 4) картирование наземных и водных экосистем и т.д.

Результаты исследований служат основой планирования использования территорий без ущерба для биоразнообразия, а также восстановления исчезающих экосистем (вводно-болотных, лесных, степных и др.).

Многие виды представлены столь небольшими по численности популяциями, что их будущее вызывает тревогу. В зависимости от степени и характера угрозы существованию такие виды подразделяются на четыре категории:

1. Исчезающие виды, находящиеся под серьезной угрозой исчезновения, спасение которых уже невозможно без осуществления специальных мер охраны.

2. Сокращающиеся виды, численность которых продолжает быстро и неуклонно сокращаться и которые в ближайшем будущем могут переместиться в категорию 1.

3. Редкие виды, не находящиеся еще под угрозой вымирания, но встречающиеся в таком небольшом количестве или на таких ограниченных территориях, что риск исчезновения достаточно велик.

4. Виды, требующие повышенного внимания, не принадлежащие к категориям 1 – 3, но нуждающиеся в особом внимании. Часто к этой категории относят малоизвестные виды, очевидно находящиеся под угрозой исчезновения, но недостаток сведений о которых не позволяет достоверно оценить состояние их популяций.

К категории исчезающих видов чаще относятся животные, занимающие высокие уровни в цепях питания, такие, как хищные птицы и млекопитающие. Они редки даже в ненарушенной среде обитания и очень уязвимы к любым формам антропогенного воздействия.

На основании исследования видов, вызывающих тревогу из-за сокращения их численности, составляются списки редких и исчезающих видов животных и растений. На схеме (рис. 6.3) представлено распределение редких и исчезающих видов Северо-Запада России по систематическим группам. Под эгидой Международного союза охраны природы (МСОП) издаются Красные книги фактов и Красные списки с данными о состоянии популяций различных видов животных и растений, которым грозит исчезновение. Красная книга в нашей стране вышла впервые в 1976 г. В ней сказано: «Красная книга – это документ совести Человека. Каждая нация перед лицом мира несет ответственность за сокровища своей при-

роды. За последние триста пятьдесят лет с лица Земли исчезло более шестидесяти видов зверей и почти сто видов птиц. Из них треть – в последние пятьдесят лет, практически на глазах нашего поколения». Эти строки были написаны более четверти века назад, но мы продолжаем прибавлять к этому списку все новые названия.

Рис. 6.3. По А.К. Бродскому, 2002.

Большую работу по сохранению видов животных и растений проводят зоопарки и ботанические сады. Это серьезные научные учреждения, которые, обладая очень скромными возможностями в деле сохранения биоразнообразия, тем не менее в ряде случаев помогли не только сохранить отдельные виды, но восстановить их популяции в прежних местах обитания. Так, были восстановлены

популяции зубров, бизонов, овцебыков. Но рассчитывать серьезно на возможности восстановления утерянных видов с помощью этих учреждений не приходится.

В последнее время стали создавать генетические банки, в которых в виде семян, эмбрионов, ДНК можно сохранить те или иные виды растений и животных. Появляется в отношении животных скорее теоретическая возможность их сохранения в природе, а в отношении растений – и практическая. Насколько будет успешным работа этих банков, покажет будущее.

Наиболее эффективной формой сохранения разнообразия живой природы является создание различного рода особо охраняемых природных территорий (ООПТ), заповедников, заказников, национальных и природных парков и др. Иногда к ним относят участки, где запрещена, например, охота или рубка леса, а все остальные виды деятельности разрешены. Но для сохранения наиболее крупных, эталонных и уникальных участков природы создают заповедники и национальные парки, где поддерживается строгий режим охраны. Сейчас в мире насчитывается около 8 500 крупных природоохранных зон. В России насчитывается 95 государственных заповедников и 32 национальных парка, что составляет около 2 % всей территории страны. А всего, так или иначе, охраняется около 5 % территории. Даже не говоря о том, в каком положении и состоянии находятся наши национальные парки и заповедники, необходимо отметить, что мы занимаем одно из последних мест в мире по площади охраняемой территории. Лидерами являются такие страны как Финляндия (30,8 % территории охраняется), Коста-Рика (29 %), Германия (26 %), Норвегия (25,3 %), Швеция (22,8 %), Гондурас (22 %). В США охраняется около 13 % территории, а на Аляске до сегодняшнего времени около 50 %., в Индонезии – 10 %, в Канаде – 9,5 %.

Критериями для выделения ООПТ служат такие показатели, как видовое разнообразие, наличие редких видов и мест массового размножения животных и растений, наличие интересных биотических сообществ, участков размножения видов из других местностей, возможности использования территории для рекреации и ряд других критериев. Так, по мнению специалистов, территория заповедника должна быть большой по площади (не менее 100×100 км). Меньшие по площади заповедники не дают возможности для вы-

живания крупным видам (волки, тигры, рыси и др.). Даже если под заповедники будет отведено 10 % континентальной территории, то нам удастся сохранить не более половины числа первоначально обитающих на Земле видов. При организации заповедников на островах следует иметь в виду, что один крупный заповедник на большом острове обладает преимуществами перед любым числом мелких на маленьких островах, занимающих одинаковую площадь. Очень важно при планировании заповедников сохранять коридоры между ними, поскольку это облегчает миграцию и потому способствует поддержанию высокого уровня биоразнообразия.

При определении размеров заповедника помимо пищевого есть еще одна важная необходимость – обеспечение генетического разнообразия видов. По мере сокращения численности популяции каждого вида неуклонно снижается круг брачных партнеров. Результат – генетическое сходство потомков, т.е. повышается степень инбридинга. Популяция, состоящая из близкородственных особей, содержащих сходные наборы генов, более уязвима воздействиям изменений окружающей среды.

Особого внимания, наряду с лесными массивами, заслуживают водно-болотные угодья, верховые и низовые болота, видовое разнообразие которых чрезвычайно высокое благодаря сочетанию наземных и водных местообитаний. Их природные комплексы играют исключительно важную роль в качестве мест стоянок и кормовых угодий в период весеннего пролета водоплавающих и околоводных птиц. Нуждаются в особой охране и наиболее богатые видами, но уязвимые сообщества, например коралловые рифы.

С учетом всего этого ООН (ЮНЕСКО) разработало программу «биосферных» заповедников, которые бы представляли собой сеть охраняемых эталонных участков основных экосистем земного шара. К 2050-му году предполагается создать 200 биосферных заповедников. Международный фонд должен помочь решению этой задачи.

В России планируется создать три таких заповедника. Первый – Новоземельский, в котором прежде всего будут сохранены такие птицы, как кайры, белощекая казарка, лебеди, гуси, а также популяция белых медведей. Второй – Усть-Ленский, в котором предполагается сохранять птиц, медведей, песцов и рыбные богатства устья Лены. Наконец, третий – Печеро-Илычский, в котором будет сохраняться единственный нетронутый в Европе лесной массив – Коми-Лес.

Наряду с такими глобальными международными проектами и государственными программами по сохранению биоразнообразия многое делается и в более мелких масштабах, особенно в Европе, где природа нарушена больше всего. В городах создаются «острова» живой природы, зеленые коридоры между парковыми зонами, маленькие природные зоны на крышах домов и т.д. В сельской местности создается сеть «залежных земель». Конечно, это не решает главной проблемы, но поддерживает иллюзию нашей близости к природе.

В последние годы все большую роль начинают играть экономические рычаги стимулирования сохранения биоразнообразия:

– налоговые льготы на мероприятия по поддержанию биоразнообразия;

– освобождение от налогов средств, направляемых на сохранение биоразнообразия;

– введение специального налогообложения на производства, уменьшающие биоразнообразие;

– льготное кредитование мероприятий по сохранению биоразнообразия.

Однако самое главное – это сохранение и приумножение нетронутых лесных, болотных, саванных регионов на континентах и наиболее продуктивных областей в океанах (шельфовых зон, зон аппвелинга, фронтальных зон).

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что биоразнообразие – основа глобальной экологической безопасности. Оно обеспечивает устойчивость экосистем и биосферы в целом.

К сожалению, уровень исследования биоразнообразия еще низок. Мы не знаем во многом ни структуры, ни состава, ни глобального распределения биоразнообразия в биосфере Земли. Отсюда трудно разработать рациональные меры по защите биоразнообразия на локальном, региональном и глобальном уровнях. Необходимы исследования и система мониторинга биоразнообразия, динамики и пространственного распределения биосистем.

6.4. Международная конвенция о биологическом разнообразии

В июне 1992 г., в Рио-де-Жанейро (Бразилия) прошла конференция ООН по окружающей среде и развитию. Внимание участни-

ков конференции было сосредоточено на обсуждении путей устойчивого развития человечества. В результате на конференции было принято три важных решения и две конвенции, одна из которых и была конвенцией о биологическом разнообразии. Она была подписана представителями 153 государств мира. Впоследствии ее подписали еще 14 государств, обеспечив тем самым ее широкую международную поддержку.

Цели конвенции о биологическом разнообразии декларировались следующим образом: «Сохранение биологического разнообразия, устойчивое использование его компонентов и справедливое распределение доходов от использования генетических ресурсов».

Конвенция о биологическом разнообразии призвала государства сделать следующие шаги: разработать национальные планы, стратегии или программы по сохранению и рациональному использованию биоразнообразия; обеспечить инвентаризацию и мониторинг компонентов биоразнообразия и процессов, оказывающих на него неблагоприятное воздействие; усилить меры по сохранению биоразнообразия как в охраняемых, так и в неохраняемых регионах; интенсифицировать восстановление нарушенных экосистем и находящихся под угрозой вымирания видов; обеспечить регулирование поступления генетически модифицированных организмов, обеспечить сохранение туземных и местных систем управления биологическими ресурсами и равноправность населения; предпринять оценки влияния на биоразнообразие осуществления различных проектов и программ.

Естественно, что конвенция о биологическом разнообразии была результатом определенного компромисса между государствами и страдала рядом недостатков. Главным из них было то, что в конвенции не было четко зафиксировано положение о том, что биоразнообразие – основа глобальной экологической безопасности на Земле. Отсюда поэтому и не был выработан механизм усиления исследования биоразнообразия, чтобы иметь возможность на этой основе разработать международные меры по защите биоразнообразия на локальном, региональном и глобальном уровнях.

Тем не менее принятие этой конвенции создало основу для дальнейших усилий в рамках международного сообщества по решению самой важной глобальной экологической проблемы Земли.

Глава 7. ДЕГРАДАЦИЯ ПОЧВ

Земельные ресурсы всегда рассматривались как одно из главных богатств любого государства. Почвенный покров к тому же является одной из основных сред обитания живых организмов. Именно с почвой связан весь разнообразный мир наземных растений и микроорганизмов. В настоящее время в мире идет быстрый процесс деградации почв. В результате уже более 1 % почв полностью деградированы, 15 % – сильно деградированы, 46 % – умеренно деградированы и 38 % – легко деградированы. Однако в ряде стран, например в Индии, Вьетнаме, сильно деградированы около 50 % земель. По заключению руководителя Вашингтонского института глобальных исследований Л.Брауна, процесс разрушения почвенного покрова – главной среды обитания живых организмов на суше – следует рассматривать как "тихий кризис" планеты.

7.1. Причины деградации земель

7.1.1. Опустынивание почв

Основная причина опустынивания – это воздействие человека в сочетании с аридными условиями на юге и влажными условиями на севере.

На юге процессы опустынивания связаны с перевыпасом скота. Животные уничтожают всю растительность, обнажая почву (Рис. 7.1). Если что-то и остается, то животные своими копытами вытаптывают остатки растительности. Строительство колодцев на засушливых пастбищах усугубляет положение, так как вокруг них в радиусе до 2 км этот процесс идет еще быстрее. Заметим, что крупный рогатый скот требует воды в четыре раза больше, чем верблюды. Таким образом, около колодцев возникают очаги опустынивания, от которых оно распространяется далее в разные стороны. Выжигание кустарника из предположения, что после пожара свежая трава растет лучше, приводит к предельному упрощению экосистемы в зоне выпаса, что также ускоряет процесс опустынивания. Этому же способствует и вырубка любого дерева на дрова в зоне выпаса.

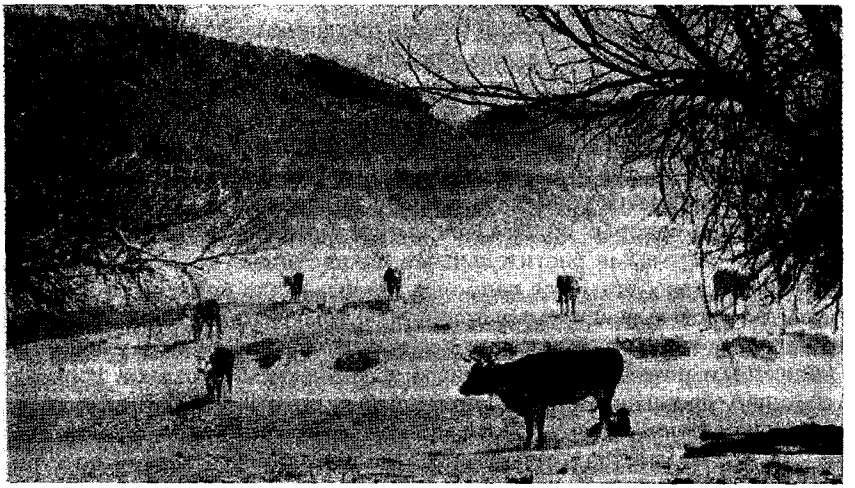


Рис. 7.1. Опустынивание. Перевыпас приводит к уничтожению защищающей почву растительности. Затем пыльные бури поднимают частицы и уносят их прочь. Таким образом, некогда плодородные территории могут превращаться в подобие пустынь (USDA-Soil Conservation Service).

На севере главной причиной опустынивания является применение тяжелой техники при освоении месторождений. Легко ранимый тонкий слой почвы в тундре под гусеницами вездеходов и тракторов полностью уничтожается и для его восстановления нужны многие десятилетия.

Процесс опустынивания не ограничивается районами, примыкающими к пустыням, или только территорией Африки, где опустынивание развивается наиболее быстро. Этому процессу подвергаются земли на юго-западе Америки, отдельных районов Австралии, Бразилии, Боливии и других стран, в том числе России и ряда стран СНГ (рис. 7.2). К примеру в Туркменистане 66 % территории подвержено опустыниванию, и эта проблема является приоритетной для страны.

В России в ряде районов опустынивание связано с выполнявшейся программой освоения целинных и залежных земель. Необдуманная распашка песчаных почв привела, например, в Бурятии к образованию массивов подвижных развеваемых песков.

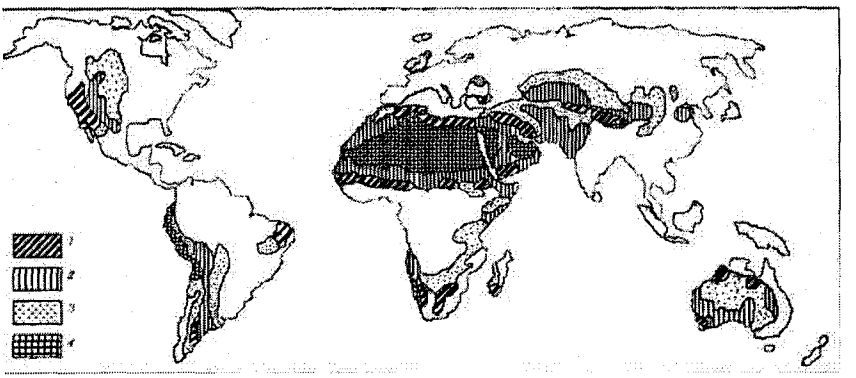


Рис. 7.2. Пустыни и территории, подвергающиеся опустыниванию (конференция ООН по опустыниванию, 1977). Степень опустынивания: 1– очень высокая, 2 – высокая, 3 –умеренная, 4 – гипераридные пустыни.

7.1.2. Эрозия почв

Эрозия почв – один из основных видов деградации почв – распространена повсеместно. Под эрозией понимается разрушение и потеря почвы под воздействием ветра и воды. Было проведено специальное исследование по оценке скорости эрозии почв за последние 300 и 50 лет. Оказалось, что на протяжении второй половины XX в. скорость эрозионных процессов по сравнению со среднеисторической возросла в 30 раз. В России половина площади почв подвержена водной и ветровой эрозии.

Ветровая эрозия, или дифляция, проявляется уже при скорости ветра 8 м/с и вызывает перемещение и переотложение разрушенного материала. По оценкам специалистов в США около 1 млрд. т почвы уносится с полей ветром, или 17,5 т на 1 га.

Еще больший урон наносит водная эрозия. По тем же оценкам в США за счет водной эрозии с полей уносится около 4 млрд. т почвы. Водная эрозия начинается при самых незначительных уклонах полей, всего 2–3°. Специалисты выделяют три вида водной эрозии: поверхностную, струйчатую и овражную. При поверхностной эрозии вода движется вниз по склону широкой лентой. При струйчатой эрозии вода собирается в ручейки. Овражная эрозия – это когда ручьи сливаются в мощные потоки, образуя овраги (Рис. 7.3).

Рис. 7.3. Овражная эрозия в штате Монтана. Этот овраг глубоко врезался в сенокосный луг. Фермеру придется приложить значительно больше усилий, чтобы обработать свою землю, – теперь у него два поля вместо одного (USDA, Soil Conservation Service; фотограф D.J. Anderson).

Казалось эрозия почвы – процесс естественный, но он резко ускорился именно из-за хозяйственной деятельности человека. В отличие от естественной эрозии почв, уносящей 1– 2 т почвы с 1 га, антропогенно обусловленная эрозия уносит от 20 до 400 т почвы с одного га в год. По оценкам же специалистов продуктивность почвы может сохраняться в течение долгого времени при ежегодных потерях, не превышающих 2–11 т на 1 га в год, в зависимости от типа почвы.

При эрозии снижается продуктивность почвы. При этом она снижается не только в результате потери наиболее плодородного пахотного слоя, но также в результате изменения структуры почвы. После разрушения и смыва почвы оставшаяся почва уже не может также хорошо поглощать воду, и в почве остается меньше доступ-

ной для растений воды. Почва более трудно поддается обработке, а иногда поля вообще оказываются поделенными оврагами на небольшие участки и использование их для нужд сельского хозяйства становится невозможным.

7.1.3. Засоление почв

Около 15 % обрабатываемых земель в мире орошаются искусственно. С этих земель получают около трети общемирового производства продовольствия. Но, испаряясь, вода оставляет на почве и в верхнем слое почвы растворенные в ней соли. Дождевая вода очень мягкая, в ней практически нет солей. Речная вода уже содержит соли, особенно много солей в речных водах, стекающих с гор. Но еще больше солей содержат артезианские воды. Их минерализация обычно очень высока. Поэтому иногда в воде, используемой для орошения, содержится на 1 000 $м^3$ воды 3,5 т солей. Один же гектар посевов обычно требует для полива от 6 000 до 9 500 $м^3$ воды в год. В результате полива за год на 1 га почвы может поступить до 33 т соли и большая ее часть останется в почве. В результате накопления соли в почве останавливается рост растений, а на поверхности могут образоваться непроницаемые солевые корки. С засолением почв столкнулись многие страны мира как развивающиеся, так и развитые (такие, как США). К примеру, в Узбекистане, где широко применяется орошение, из 4 300 тыс. га орошаемой пашни в различной степени засолено более 2 500 тыс. га, т.е. 60 %.

7.1.4. Закисление почв

Закисление почв связано в первую очередь с кислотными дождями, а также с применением минеральных удобрений. Кислотные дожди выщелачивают необходимые минеральные компоненты как из почв сельскохозяйственного использования, так и из лесных. При закислении вымываются из почвы ионы, важные для питания растений. Катионы, сорбционно-связанные с коллоидными частицами почвы, замещаются протонами и мигрируют в глубинные слои, становясь недосягаемыми даже для корней деревьев. Закисление можно определить, например, по понижению концентрации ионов Fe^{2+} и Mg^{2+}. Снижение pH препятствует развитию микроорганизмов в почве, что также ухудшает минеральное питание расте-

ний. Все изменения состава почвы, связанные с увеличением ее кислотности, подавляют рост растений. Наиболее страдают от закисления почв развитые в промышленном отношении страны и особенно север Европейского континента, США и юг Канады, поскольку в этих районах высока и естественная кислотность почв. Наиболее чувствительны к закислению почв хвойные леса.

7.1.5. Уплотнение почв

Хотя из многих причин деградации почв эта, может быть, и менее важная, тем не менее о ней необходимо сказать. Уплотнение почв связано с использованием в сельском хозяйстве тяжелой колесной техники, особенно на переувлажненных почвах. Допустимая нагрузка при движении колесной техники не должна превышать 0,4–0,5 кг/см^2. Большинство же советских тракторов в самом недавнем прошлом превосходили этот норматив в три – четыре раза.

При уплотнении почв ухудшаются условия водообмена и воздухообмена, а следовательно, снабжение водой и кислородом корней растений и микроорганизмов, уменьшается в целом влагоемкость почв и меняется химия почв. В уплотненной почве происходят процессы восстановления, в результате чего теряется азот из почвы. По оценкам немецких специалистов из переуплотненной почвы может теряться до 40 % азотных удобрений. В то же время в такой почве накапливается марганец и железо, которые в высоких концентрациях токсичны для растений. Таким образом, восстановительные процессы за счет уплотнения могут отразиться в заметной степени на плодородии почвы.

7.1.6. Загрязнение земель

Загрязнение земель получило в настоящее время широкое распространение. Особенно большое воздействие на процессы деградации почвы оказывает загрязнение ее тяжелыми металлами и пестицидами.

Тяжелые металлы. Тяжелые металлы антропогенного происхождения попадают в почву из воздуха вместе с твердыми и жидкими осадками. Опасность загрязнения тяжелыми металлами из воздуха существует в равной степени для любых видов почв. В основном почвы загрязняются свинцом, кадмием, медью и цинком.

У свинца наблюдается тенденция к накоплению в почве, так как его ионы малоподвижны даже при низких значениях pH. По современным оценка в развитых странах в почвы может поступать от 40 до 530 г свинца на 1 га в год. Источники его поступления – автотранспорт, промышленные предприятия которые выбрасывают этот элемент в атмосферу, мусоросжигающие заводы с недостаточной очисткой отходящих газов и т.д. Растения более устойчивы к свинцу, чем люди и животные. Так, в сильно загрязненных областях содержание свинца в сене доходило до 6 700 мг на 1 кг сухого вещества. У животных на пастбищах первые признаки отравления наблюдаются уже при суточной дозе около 50 мг Pb на 1 кг сухого сена. Для людей предельно допустимая концентрация, например при употреблении салата, составляет 7,5 мг на 1 кг листьев.

Кадмий попадает в почву обычно с продуктами сгорания в значительно меньших количествах (2–35 г на 1 га в год). Ионы кадмия более подвижны и накопления этого элемента обычно не наблюдается. Но токсический эффект кадмия более выражен.

Это же относится и к ионам меди. Токсический эффект меди на растения проявляется уже при ее содержании 20 мг в 1 кг сухого вещества. Медь оказывает токсическое воздействие и на микроорганизмы, при этом достаточно концентрации 0,1 мг/л.

К сравнительно подвижным элементам относится также и цинк. Цинк используется в быту и технике достаточно широко, и потому внесение его в почву происходит в достаточно заметных количествах и составляет 100–2 700 г на 1 га. Растворимость цинка в почве увеличивается при значениях pH менее 6, что увеличивает усвояемость его растениями. Токсический эффект для растений создается при содержании 200 мг цинка на 1 кг сухого материала. Организм человека достаточно устойчив к цинку, и опасность отравления цинком у человека при использовании сельскохозяйственных продуктов, содержащих цинк, невелика. Однако многие виды растений подвержены токсическому воздействию цинка.

Пестициды. По оценкам половина мировых запасов продовольствия пожирается или повреждается различными вредителями. В бывшем СССР эти потери составляли до 30–40 %, а в США – около 30 %.Специалисты считают, что в случае успешной борьбы с насекомыми и болезнями, которые поражают зерновые культуры,

ежегодная прибавка урожая составила бы около 200 млн. т зерна. Этого количества хватило бы для пропитания одного миллиарда человек.

Любое вещество, используемое для уничтожения вредителей, называется пестицидами (pest – паразит, вредитель). Сразу же после появления и внедрения органических средств борьбы с вредителями они стали попадать в почву. Первым синтетическим широко используемым пестицидом был ДДТ (дихлордифенолтрихлорэтан). Затем появились широко известные пестициды: хлорофос, карбофос, гексахлоран, полихлорпинен, полихлоркамфен, севан и др. Это все инсектициды, предназначенные для борьбы с насекомыми. Несколько позже широко стали применяться и гербициды для борьбы с сорняками. Эффект их применения был достаточно впечатляющим.

Но достаточно скоро выяснилось, что пестициды приносят не только пользу. Во-первых, пестициды накапливаются в почве, особенно хлорсодержащие углеводороды, и пестициды, содержащие мышьяк, свинец и ртуть. Эти пестициды относятся к группе устойчивых. Они не разрушаются за время одного вегетационного периода. Например, период полураспада у ДДТ составляет 20 лет. Ртуть и мышьяк полностью не разрушаются никогда. В результате в США, например, погибли в 60–70-х годах прошлого столетия фруктовые сады в районах, где фермеры из года в год пользовались мышьяковистым свинцом. Длительная жизнь устойчивых пестицидов приводит к тому, что продукты питания, никогда не подвергавшиеся обработке пестицидами, тем не менее их содержат. Пыльные бури разносят их по всему свету. Их обнаружили даже в жире пингвинов в Антарктиде (ДДТ). В США в дождевой воде и воде туманов обнаружили 11 различных пестицидов в концентрациях порядка микрограммов на один литр, что выше предельно допустимых концентраций.

Во-вторых, они способны накапливаться в живых организмах в количествах больших, чем их содержится в окружающей среде. При этом концентрация их возрастает по мере продвижения по пищевым цепям. Поэтому птицы, крупные животные и человек поедают пищу, в которой концентрация пестицидов значительно выше, чем в окружающей среде.

В-третьих, у вредителей, против которых применяются пестициды, вырабатывается способность становиться устойчивыми к

пестицидам. Изменения в генетическом материале выживших особей позволяют получить потомство, устойчивое к пестицидам. Иногда пестициды сами индуцируют устойчивость, стимулируя выработку вредителями определенных ферментов, которые разрушают эти пестициды. Кроме того, пестициды широкого спектра действия уничтожают и многих паразитов и хищников вредителей и тем самым снижают пресс вредителей, после появления у них устойчивости к тому или иному пестициду. Появляются и устойчивые к гербицидам сорняки. Наконец в последнее время пришлось столкнуться с тем, что появились почвенные микроорганизмы, которые активно разрушают пестициды. В результате снижается их действие на вредителей, что заставляет использовать все больше и больше пестицидов, в том числе новых пестицидов.

Токсичность пестицидов очень велика. Они убивают все живое, если их содержание превышает определенные нормы. Они очень опасны и для человека, являясь одновременно активными канцерогенами и мутагенами. По оценкам Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) ежегодно в мире от применения пестицидов умирают около 20 000 человек и около 1 млн. человек получают отравление с последствиями для здоровья. Особенно опасны такие пестициды, как ДДТ, Алдрин, Диэлдрин, Линдан, Хлорид ртутного этила и ряд других. В США и Европе их применение сейчас запрещено.

7.1.7. Изъятие земель из землепользования

Хотя эта проблема может быть и менее значима на первый взгляд, поскольку земли не деградируют в прямом смысле и не изымаются из полного использования. Но изъятие земель под другие нужды снижает их общие объемы, которые ранее уже использовались или в будущем могли бы быть использованы для нужд сельского хозяйства. Большие площади земель изымаются для строительства городов, различных промышленных предприятий, водохранилищ, транспортных коммуникаций и т.д.

Яркий пример – Россия, где из сельскохозяйственного использования выведено более 1 млн. га пахотных земель, а резерв земель, которые могли быть использованы сельским хозяйством, снизился с 30 до 10 млн. га.

7.2. Пути снижения темпов деградации почв

Поскольку причин деградации земель достаточно много, постольку и путей снижения скорости деградации земель или ее прекращения тоже достаточно много и они существенно отличаются друг от друга.

В борьбе с опустыниванием и эрозией почв один из основных методов – создание лесозащитных полос. Лесозащитные полосы препятствуют опустыниванию, поскольку ограничивают возникшие очаги опустынивания, не позволяют им расширяться и являются основой восстановления структуры почвы. Они представляют собой мощную преграду и на пути ветровой и водной эрозии. В борьбе с опустыниванием следует говорить и об ограничении выпаса скота, и о четкой регламентации путей следования гусеничной техники при освоении месторождений в тундровых районах. В борьбе с эрозией очень важны и методы сокращенной обработки почвы (лущение или дискование), правильные севообороты (после пшеницы злаки или бобовые, которые восстанавливают структуру почвы), вспашка только поперек склонов, как бы малы они не были.

Бороться с проблемой засоления почвы очень сложно. Первый и самый надежный путь – это рационализация системы орошения и отказ от использования земли для производства монокультуры (хлопчатник, рис и т.д.). Важно также соблюдение рациональных систем землепользования (севооборот, содержание земли под паром, разумное внесение удобрений, в том числе и органических). Отказ от производства монокультуры – это и метод борьбы с агроистощением почв. Что такое рациональная система орошения? Это переход на технологию тонкоструйного или капельного полива. Подводящие воду трубки находятся либо в грунте, либо на поверхности, и вода вытекает через наконечники или форсунки. При этом резко сокращаются объемы воды, используемые для полива, а следовательно, и количества солей, поступающих в почву.

Борьба с закислением почв – это борьба с выбросами в атмосферу диоксидов серы и прежде всего азота, а также рационализация внесения в почву минеральных удобрений. В последние годы очень много сделано, чтобы уменьшить выбросы в атмосферу диоксида серы тепло- и электроэнергетикой и диоксида азота транспортом. Острота проблемы кислых дождей в последние два десятилетия заметно

уменьшилась и уже не стоит так остро. Действенным методом борьбы с закислением пахотных земель является их известкование.

Проблему уплотнения почв решить, пожалуй, наиболее просто. Необходимо отказаться от использования тяжелой техники. Наиболее развитые страны сейчас практически отказались от тяжелой техники типа тракторов "Кировец" и "Ковровец", которые так широко применялись в бывшем Советском Союзе.

Очень важный вопрос – это борьба с загрязнением земель. За загрязнение тяжелыми металлами ответственность ложится на энергетику, металлургию и машиностроение, химическое производство, производство строительных материалов, автотранспорт, коммунальное хозяйство. Естественно, основной путь уменьшения поступления тяжелых металлов в атмосферу, а затем и почву – это совершенствование технологических процессов во всех указанных отраслях хозяйственной деятельности человека.

Нельзя сказать, что в этом направлении сделано мало. Перевод энергетики на наименее загрязненные виды топлива, совершенствование систем очистки выбрасываемых в атмосферу газов, совершенствование видов топлива и двигателей в автотранспорте – все это звенья в борьбе за уменьшение загрязнения атмосферы, а следовательно, и почв. И определенные достижения наметились на этом пути. Так, удалось уменьшить концентрации свинца в почвах, а в ряде районов – и других тяжелых металлов. Но проблема пока остается.

Что касается пестицидов, то здесь все далеко не просто. Идет постоянная работа по созданию все новых химических соединений, способных успешно бороться с вредителями сельского хозяйства. Отказаться от их использования человечество пока не может. По оценкам министерства сельского хозяйства США, отказ от применения пестицидов привел бы к потере от вредителей 70 % урожая. Однако ученые, работающие над созданием новых пестицидов, ставят своей задачей получать новые их виды с минимальной устойчивостью (что бы они разрушались в течение двух-трех недель) и обладали минимальной биоаккумуляцией.

Правда, есть и альтернативные предложения. Так, предлагается использование "органического" земледелия с очень строгой технологией и постоянным обменом сортами (чтобы сбить вредителей с толку). Полагают, что потери в этом случае для пшеницы составят

25 %, а кукурузы – 10 %. Но эти результаты были получены в опытных хозяйствах. Суть органического земледелия – привести почву в сбалансированное состояние, удалив из нее яды, насытить ее дождевыми червями и другими естественными для почвы организмами. При этом полагают, что сорняки замедляют свой рост в этом случае. Но все-таки этот путь во всем мире не рассматривается как перспективный.

В желании сохранить почву чистой разрабатываются и другие комплексные методы борьбы с вредителями (агротехнические меры, создание и выращивание устойчивых сортов, выборочное использование пестицидов после предварительной оценки реального наличия вредителей, постоянный мониторинг, позволяющий применять пестициды только тогда, когда нужно). Предлагаются также биологические методы борьбы и использование для борьбы с вредителями природных соединений. Например, использование ферромонов для привлечения насекомых-вредителей в специальные ловушки, бактерий и вирусов, поражающих сельскохозяйственных вредителей, генетические методы стерилизации самцов вредителей (путем их размножения в искусственных условиях в большом количестве и последующем выпуске их на свободу) и ряд других. В качестве использования природных соединений для борьбы с вредителями можно привести такие, как хрен против картофельного клопа, сельдерей против бабочек капустниц, горький перец против тлей, настои луковой шелухи, табака, чеснока и других растений против различных насекомых.

Тем не менее во всех развитых странах идут сейчас по пути ограничения применения пестицидов (например, во Франции установлен предел 3,2 кг/га в год), а ряд наиболее опасных пестицидов, как уже указывалось, запрещен к применению. В России произошел катастрофический спад производства пестицидов. Отечественная промышленность по производству пестицидов оказалась практически ликвидированной. С точки зрения восстановления чистоты российских почв это оказалось полезным, чего нельзя сказать относительно урожайности зерновых в России.

В заключение можно привести рекомендацию ООН по этому вопросу ("Повестка дня на XXI век"): "Лучшим вариантом считается комплексный способ борьбы с вредителями, сочетающий биоло-

гические средства, сопротивляемость растения-хозяина и правильное ведение фермерского хозяйства с минимальным использованием пестицидов".

Наконец, что касается изъятия сельскохозяйственных земель на другие нужды. Эта проблема, по крайней мере, во всех развитых странах, осознана, и сейчас достаточно трудно использовать сельскохозяйственные угодья или пригодные для сельского хозяйства земли для целей строительства (поэтому большинство городов не только в США, но и в Европе стали расти вверх). Отчуждение земель обычно проигрывается в судах, даже в тех районах, которые, казалось бы, можно было использовать для строительства, если они затрагивают хоть в какой-то степени экологические проблемы (в этом отношении наиболее показательны США, Германия и Япония).

В большинстве развитых стран созданы кадастры земель, в которых выполнено районирование земельных угодий на основании критерия "лучшего использования". При этом районирование осуществляется по трем основным градациям:

– угодья, подлежащие эксплуатации, на которых может производиться интенсивное земледелие;

– угодья, подлежащие защите, которые не должны возделываться методами интенсивного сельского хозяйства;

– угодья, подлежащие восстановлению, в которых земля либо полностью потеряла свою продуктивность, либо ее продуктивность резко снизилась.

Такая классификация позволяет определить систему юридических и экономических стимулов, мер информационного и просветительского характера. На угодья, отнесенные к зонам, подлежащим защите, не должны распространяться помощь и субсидии, которые поощряют их интенсивное использование. Такие зоны могут подойти для таких жизнеспособных с экологической и экономической точки зрения видов землепользования, как пастбищное животноводство, лесоводство, садоводство. Система оказания помощи направляется на возделывание более разнообразных сельскохозяйственных культур, которые способствуют сохранению почвы.

В "Повестке дня на XXI век" ООН предложила правительствам всех стран разработать политику рационального землепользования, улучшить способы координации земельного планирования и соз-

дать более действенные системы земельного планирования и землепользования. Предложено было также опробовать пути возможного включения стоимости земель в общенациональные показатели экономического развития, например в показатель валового национального продукта (ВНП).

Все это очень хорошие рекомендации, но как добиться того, чтобы фермер сам постоянно делал все, чтобы свести к минимуму отрицательное воздействие на почву. Дело в том, что ограниченность ресурсов в масштабах общества не всегда доходит до понимания каждого отдельно взятого земледельца.

Свободный рынок (если он на самом деле свободный), к примеру, представляет собой механизм для передачи информации о дефиците – цены на те или иные предметы растут, когда этих предметов начинает недоставать. В условиях рыночной системы к ресурсу, цена которого высока из-за его дефицита, фермер, если он хороший хозяин, всегда будет относиться бережно и экономно. Однако рыночный механизм не эффективен, если не установлены четкие права собственности на подлежащие обмену ресурсы. В отношении земли это сделать достаточно просто, если закрепить частную собственность на землю с правами ее продажи и целевыми требованиями использования. Там, где это сделано, действуют земельные рынки. В этих районах землевладелец при продаже земли либо вознаграждается за хорошее обращение с угодьями более высокой ценой, либо бывает наказан за небрежное землепользование, получая низкую цену. Таким образом, рынки сигнализируют о земельном дефиците и стимулируют земледельцев применять технологии, щадящие почвы. Возможно, что когда-нибудь такой механизм сохранения земельных ресурсов заработает и в России.

Глава 8. ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

В ряду уже рассмотренных проблем стоят и глобальные изменения окружающей среды, связанные с загрязнением атмосферы Земли. К ним относятся изменения, связанные с загрязнением атмосферы парниковыми газами и, в первую очередь, углекислым газом, что должно приводить к усилению парникового эффекта и, следовательно, увеличению температуры на Земле. Большую обеспокоенность вызвало загрязнение атмосферы соединениями хлора и брома, которые способны разрушать озоновый слой атмосферы, что вообще угрожает существованию жизни на Земле. И, наконец, загрязнение атмосферы диоксидами серы и азота, что приводит к выпадению кислых дождей, которые пагубно воздействуют на все живое, и особенно на хвойные леса.

Это три основные глобальные проблемы, которые мы рассмотрим. Естественно, существует ряд очень серьезных локальных проблем, связанных с загрязнением атмосферы, например выбросы в атмосферу целого комплекса загрязнителей Норильским металлургическим объединением, что привело к гибели растительности в радиусе около 100 км от Норильска. Таких примеров можно было бы привести достаточно много, но это вопросы курса «Охрана окружающей среды».

8.1. Проблема «глобального потепления»

Как мы уже упомянули, среди важных глобальных экологических проблем стоит проблема, связанная с увеличением средней температуры воздуха на Земле, особенно заметно проявившаяся, по мнению ряда исследователей, в последние десятилетие XX столетия. Многие ученые объясняют это потепление выбросом парниковых газов в атмосферу. Парниковых газов достаточно много, но определяющую роль играет углекислый газ, поступающий в атмосферу вследствие сжигания человеком огромного количества минерального топлива. К сожалению, эта проблема в настоящее время получила преувеличенное внимание и в средствах массовой информации, и у научной общественности. Ее рассматривают чуть ли не как главную экологическую проблему, стоящую перед человечеством. Описываются грядущие катастрофы, ожидающие нас в самом

ближайшем будущем (исчезновение льдов в Арктике и лесов в Сибири, повышение уровня Мирового океана и затопление громадных участков его береговой зоны, в которой расположены многие крупные города мира, учащение разрушительных ураганов, наводнений, засух и т.д.). Политики принимают политические решения на основе выводов тех ученых, которым по тем или иным причинам импонирует феномен «глобального потепления» Земли.

Какова же научная аргументация сторонников этого феномена?

1. В последние десятилетия наблюдается постоянный рост концентрации в атмосфере Земли парниковых газов (в первую очередь, CO_2), обусловленный, по мнению большинства ученых, антропогенной деятельностью (главным образом, в результате сжигания ископаемого топлива).

2. В результате увеличения содержания парниковых газов усиливается парниковый эффект атмосферы Земли, следствием чего является повышение среднегодовой температуры воздуха на Земле.

3. Численное моделирование климата свидетельствует о неизбежных в ближайшие годы изменениях глобального климата с катастрофическими социально-экономическими последствиями.

В качестве подтверждения реальности этого феномена уже сейчас на основе глобального осреднения данных наблюдений делается вывод о происходящем потеплении в глобальном масштабе, и многие катастрофы гидрометеорологического происхождения (наводнения, засухи, ураганы, обильные снегопады и т.д.), наблюдающиеся в последние годы, объясняются как результат «глобального потепления».

Все это утверждается, несмотря на те общеизвестные истины, что и климат на Земле менялся неоднократно, и природные катастрофы на Земле происходили всегда, что зафиксировано и в геологической летописи Земли и в многочисленных рукописных и печатных источниках после появления письменности.

У любого непредвзято настроенного ученого возникает много вопросов относительно как обоснования реальности «глобального потепления», так и надежности долгосрочных прогнозов, обещающих человечеству катастрофические последствия такого потепления.

Положение о росте концентрации CO_2 в атмосфере в последние несколько десятилетий ни у кого не вызывает сомнений. Однако

природа этого явления далеко не ясна. В Мировом океане, как известно, содержание углекислого газа в 50–60 раз больше, чем в атмосфере Земли. Поэтому океан является главным регулятором содержания CO_2 в атмосфере. Только за счет продукции фитопланктона океана ежегодно поглощается около 1/13 всего углекислого газа, содержащегося в атмосфере. В то же время за счет сжигания топлива в атмосферу поступает около $(1{,}4–1{,}9)\cdot 10^9$ т/год углерода, что в 40–50 раз меньше, чем его связывается при продуцировании органического вещества на Земле (около $80\cdot 10^9$ т/год). Отсюда биота Земли является вторым, еще более важным, регулятором содержания углекислого газа в атмосфере. Целый ряд ученых полагает, что именно уничтожение лесов и болот является одной из причин увеличения CO_2 в атмосфере. Таким образом, если человек и виновен в том, что происходит рост концентрации CO_2 в атмосфере, то связано это скорее всего не столько со сжиганием топлива, сколько с бесконтрольным уничтожением биоты на Земле (лесов, болот) и загрязнением прибрежных акваторий. Даже в настоящее время биота утилизирует половину выбрасываемого человечеством углекислого газа путем увеличения своей продукции. Но определенную и, возможно, основную роль в росте концентрации CO_2 в атмосфере играет изменение температуры поверхностных слоев океана в высоких широтах, вызываемое совершенно другими причинами. Растворимость CO_2 зависит от температуры воды. При повышении температуры растворимость уменьшается и избыток CO_2 поступает в атмосферу. При этом незначительные изменения в содержании CO_2 в океане приводят к очень заметным изменениям его концентрации в атмосфере, что, скорее всего, и объясняет синхронность изменения содержания CO_2 в атмосфере и климата Земли по данным ледовых кернов Антарктиды и Гренландии и палеоклиматическим реконструкциям.

Далее, так ли уж велика роль увеличения концентрации CO_2 в атмосфере в формировании парникового эффекта на Земле? И по этому вопросу в научной литературе существуют большие сомнения. Существуют различные модели круговорота углерода на Земле. Так, по модели П. Дитце при сохранении современного уровня выбросов CO_2 в атмосферу до 2100 г. должно произойти повыше-

ние средней глобальной температуры воздуха всего лишь на 0,15 °С. А это ниже точности ее определения в масштабе планеты.

Теория «парникового эффекта» основана на ряде допущений, которые, по мнению одного из известных российских специалистов по физике атмосферы Ю.В. Казанцева (2001), не применимы для атмосферы Земли:

– поток излучения постоянен по спектру,

– параметры излучающей среды стационарны,

– коэффициент поглощения среды не зависит от длины волны излучения,

– отсутствует конвекция.

В работе таких известных ученых по теории формирования и эволюции Земли, как О.Г. Сорохтин и А.П. Кузнецов (2000) показано, что в условиях «плотных» атмосфер, таких как атмосфера Земли, должна применяться адиабатическая теория парникового эффекта. В этом случае даже при двукратном увеличении углекислого газа в атмосфере и росте давления на 0,15 млбара прирост среднегодовой температуры составит 0,01 °С. Однако, если учесть, что большая часть поступающего в атмосферу CO_2 растворяется в конечном счете в океане и далее, при гидратации пород океанической коры, связывается в карбонатах, то вместе с углеродом в карбонаты может переходить и часть атмосферного кислорода. Но тогда, как пишут эти авторы, вместо слабого повышения атмосферного давления следует ожидать его некоторого понижения и, следовательно, слабого похолодания климата, а не его существенного потепления, как это вытекает из преобладающих в настоящее время представлений о «парниковом эффекте».

Наконец, абсолютно спорным является и оценка размеров наблюдающегося потепления климата. Подробный критический обзор оценок уровня «глобального потепления» в XX столетии сделан в работах ведущего российского специалиста в области теории климата К.Я. Кондратьева (1999, 2001). Отметим лишь, что при использовании наиболее совершенной методики получения средней оценки изменения приземной температуры воздуха на Земле за 100 лет оказалось, что температура выросла всего на 0,24 °С за столетие. Применение этой методики дало основание канадскому ученому Р. МакКитрику (2000) сделать вывод об отсутствии за период

1959–1999 гг. каких либо трендов в изменениях средней глобальной приземной температуры воздуха и температуры воздуха свободной атмосферы, а отсюда придти к заключению об отсутствии в изменениях температуры воздуха «парникового сигнала».

В связи с этим встает вопрос и об адекватности данных наблюдений, используемых в расчетах средней глобальной температуры. Известно, что покрытие земного шара данными наблюдений приземных синоптических станций диспропорционально – Европа, большая часть Азии и Северной Америки имеют гораздо лучшее покрытие, чем Африка, Южная Америка и ряд регионов Азии. Помимо этого, даже при наличии станций в этих районах, регулярность выполнения ими наблюдательных программ зачастую далека от требуемой, что подтверждается результатами мониторинга Всемирной Службы Погоды ВМО. Именно поэтому одной из задач Глобальной Системы Наблюдений за Климатом (ГСНК) и является создание Наземной Сети станций ГСНК, относительно равномерно распределенных по земному шару, наблюдения которых отвечали бы критериям по количеству и качеству наблюдений, разработанных экспертами ГСНК. Эта задача пока не решена.

Наиболее чувствительными к «глобальному потеплению» областями на Земле являются Полярные области. Именно в этих областях должен быть заметен, если он есть, «парниковый сигнал». Последствиям потепления климата в Арктике посвящена недавно изданная Кембриджским университетом книга «Воздействие потепления в Арктике» (2004).

Однако проверка приведенных в книге результатов, выполненная нами, показывает несостоятельность большинства из них. В табл. 8.1 приведены координаты 16-и станций за Северным Полярным кругом, имеющих довольно длительные ряды наблюдений за приземной температурой воздуха (50–70 лет). Эти станции достаточно равномерно расположены вокруг Северного полюса Земли на побережье и островах Северного Ледовитого океана.

В этой же таблице приведены и координаты 16 станций в Южной Полярной области с наиболее длительными рядами наблюдений, расположенных к югу от 60° ю.ш. Ряды наблюдений на этих станциях короче, но тем не менее везде они превышают 35 лет.

В табл.8.2 приведены значения величин линейных трендов температуры воздуха за 50 лет (1951–2000 гг.) в Северной Полярной области и за 40 лет (1961–2000 гг.) в Южной Полярной области, а также величины тренда за последнее 10-летие XX в. и для сравнения величины стандартных отклонений рядов наблюдений за температурой воздуха соответственно за 50 и 40 лет.

Данные табл. 8.2 очень показательны. Если брать периоды наблюдений за 50 и 40 лет соответственно для Северной и Южной Полярных областей, то на большинстве станций тренды в изменениях температуры воздуха отсутствуют. На 18 станциях из 32 они незначимы или равны нулю (рис. 8.1 и 8.2). В Южной Полярной области значимый положительный тренд в температуре воздуха наблюдается на станциях в районе Антарктического полуострова, Мак-Мердо и Новолазаревская и слабый отрицательный тренд на ст. Халли-Бей, Моусон и Восток (рис.8.3). В Северной Полярной области на большинстве станций тренд в изменениях температуры воздуха близок к нулю, однако выделяются две области со значимыми, но противоположно направленными трендами. Первая область – это моря Чукотское и Бофорта, где наблюдается положительный тренд, и вторая – район моря Баффина, где имел место заметный отрицательный тренд (рис 8.4).

Если взять последнее десятилетие XX столетия, то рост температуры наблюдается на большей части побережья Арктического бассейна, за исключением моря Баффина. Именно заметный рост температуры воздуха на большей части Арктики в последние 10–15 лет прошлого столетия и является аргументом «глобального потепления» у его сторонников. Но, с другой стороны, в Южной Полярной области по всему побережью Антарктиды, за исключением Антарктического полуострова, в этот же период наблюдалось заметное похолодание. Таким образом, на основании данных по температуре воздуха в Южной Полярной области за последние 10 лет прошлого столетия можно скорее говорить о «глобальном похолодании» климата Земли. На самом же деле приведенные данные показывают, что на основании рядов длительностью 10–20 лет и даже более нельзя делать выводы о трендах в глобальных процессах, происходящих на Земле.

Таблица 8.1

Координаты станций, расположенных в Арктике и Антарктике, имеющие наиболее продолжительные ряды наблюдений за температурой воздуха

№ п/п	Станция	Широта °	Долгота °	Период наблюдений
Северная Полярная область				
1	**Ян-Майен**	70°59'с.ш.	8°40'з.д.	1828–2000
2	о.Медвежий	74 31	19 01в.д.	1921–2000
3	Варде	70 22	31 06	1901–2000
4	Мурманск	68 58	33 03	1921–2000
5	Мыс Канин Нос	68 39	43 18	1921–2000
6	Малые Кармакулы	72 23	52 44	1901–2000
7	Диксон	73 30	80 14	1911–2000
8	Хатанга	71 59	102 27	1931–2000
9	Мыс Шалаурова	73 11	143 56	1931–2000
10	О.Врангеля	70 57	178°32'з.д.	1921–2000
11	Барроу	71 18	156 47	1901–2000
12	Коппермайн	67 49	115 08	1931–2000
13	Кембридж Бей	69 07	105 59	1941–2000
14	Юрика	80 00	85 56	1941–2000
15	Клайд	70 27	68 37	1941–2000
16	Упернавик	72 47	56 04	1901–2000
Южная Полярная область				
1	Халли-Бей	75°30'ю.ш.	26°39'з.д.	1956–2000
2	Санаэ	70 19	2 02	1957–1998
3	Новолазаревская	70 46	11°50'в.д.	1961–2000
4	Сева	69 00	39 35	1957–2000
5	Молодежная	67 40	45 51	1963–1999
6	Моусон	67 36	62 53	1954–2000
7	Дейвис	68 35	77 59	1957–2000
8	**Мирный**	66 33	93 01	1957–2000
9	Восток	78 27	106 52	1957–2000
10	Кейси	66 15	110 32	1957–2000
11	Дюмон-д'Юрвиль	66 40	140 01	1956–2000
12	Мак-Мердо	77 51	166 40	1956–2000
13	Ротера-Поинт	67 34	68°08'з.д.	1946–2000
14	Фарадей (ныне Вернадский)	65 15	64 16	1944–2000
15	Артуро-Прат	62 30	59 41	1961–2000
16	Эсперанца	63 24	56 59	1945–2000

Таблица 8.2

Величины линейных трендов (°С) и стандартные отклонения (δ) Среднегодовой температуры воздуха в Северной и Южной Полярных областях

№ п/п	Станция	Величина тренда за 50 и 40 лет соответственно	Величина тренда за посл.10 лет (1991–2000 гг.)	δ
Северная Полярная область				
1	Ян-Майен	–0,4	1,3	1,0
2	о.Медвежий	0	1,0	1,3
3	Варде	0,2	0,6	0,8
4	Мурманск	0	1,1	1,1
5	Мыс Канин Нос	0,2	1,1	1,0
6	Малые Кармакулы	–0,1	1,0	1,3
7	Диксон	–0,3	1,6	1,3
8	Хатанга	0,2	1,1	1,3
9	Мыс Шалаурова	0,1	1,3	1,0
10	о.Врангеля	0,6	0,4	0,8
11	Барроу	0,8	1,0	1,1
12	Коппермайн	1,0	0,8	0,9
13	Кембридж Бей	0,9	0,6	1,0
14	Юрика	0,1	2,4	1,1
15	Клайд	–1,4	–0,8	1,1
16	Упернавик	–1,9	–0,8	1,3
Южная Полярная область				
1	Халли-Бей	–0,6	–1,3	1,1
2	Санаэ	0,7	–0,4	1,0
3	Новолазаревская	0,9	–1,3	0,6
4	Сева	0,0	–0,5	0,8
5	Молодежная	0,0	–0,8	0,5
6	Моусон	–0,4	–0,6	0,7
7	Дейвис	0,0	–0,2	0,9
8	Мирный	–0,1	–0,3	0,7
9	Восток	–0,4	–2,1	0,7
10	Кейси	0,0	–1,5	0,9
11	Дюмон-д'Юрвиль	–0,3	–0,6	0,7
12	Мак-Мердо	1,1	0,2	0,8
13	Ротера Пойнт	1,3	1,5	1,4
14	Фарадей (Вернадский)	1,8	2,1	1,3
15	Артуро-Прат	0,9	1,8	0,8
16	Эсперанца	2,0	2,4	1,2

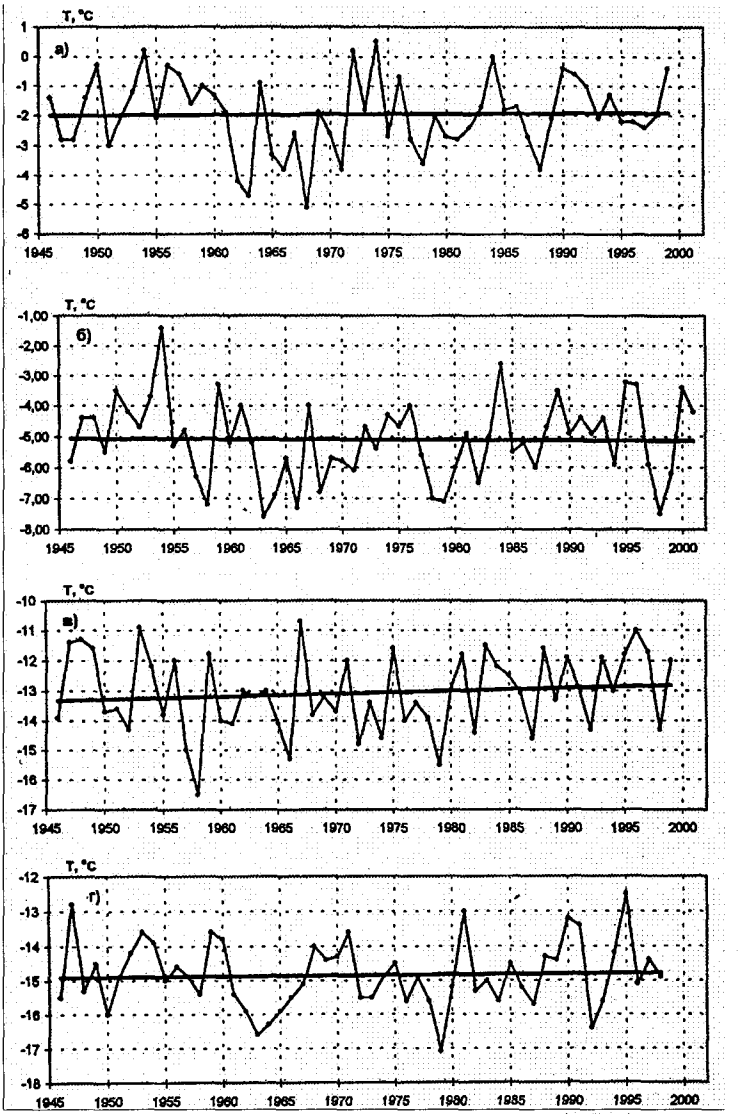


Рис. 8.1. Линейные тренды изменений среднегодовой температуры воздуха на станциях о. Медвежий (а), Малые Кармакулы (б), Хатанга (в), Мыс Шалаурова (г).

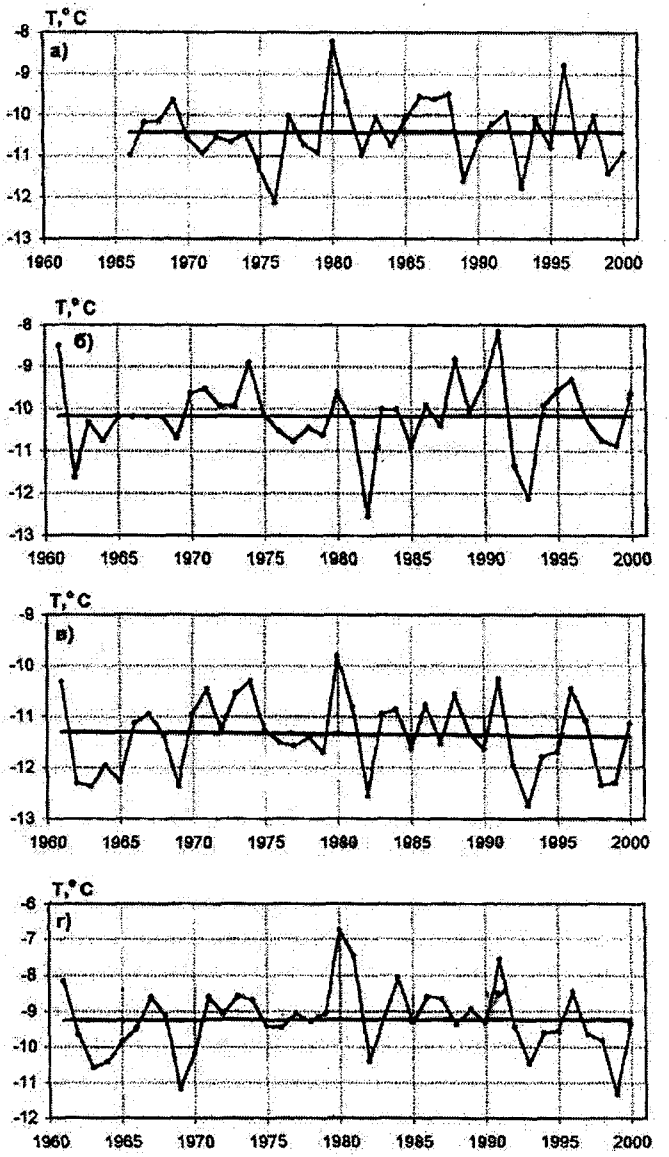


Рис. 8.2. Линейные тренды изменений среднегодовой температуры воздуха на станциях Сева (а), Дейвис (б), Мирный (в), Кейси (г).

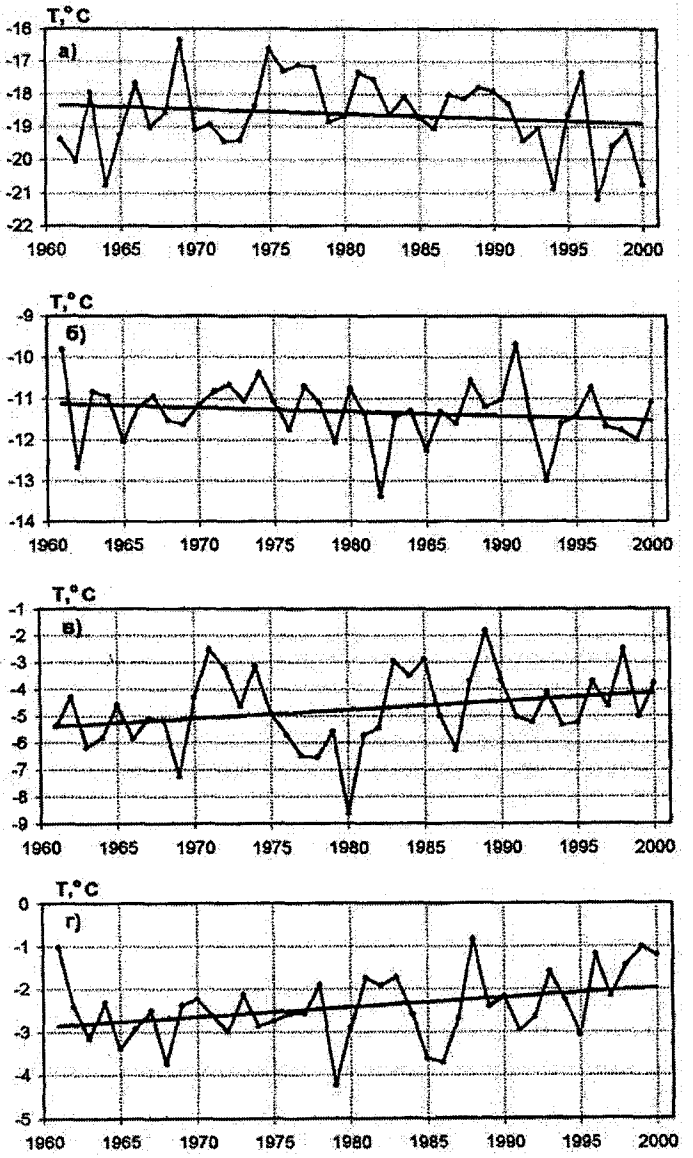


Рис. 8.3. Линейные тренды изменений среднегодовой температуры воздуха на станциях Халли-Бей (а), Моусон (б), Ротера-Пойнт (в), Артуро-Прат (г).

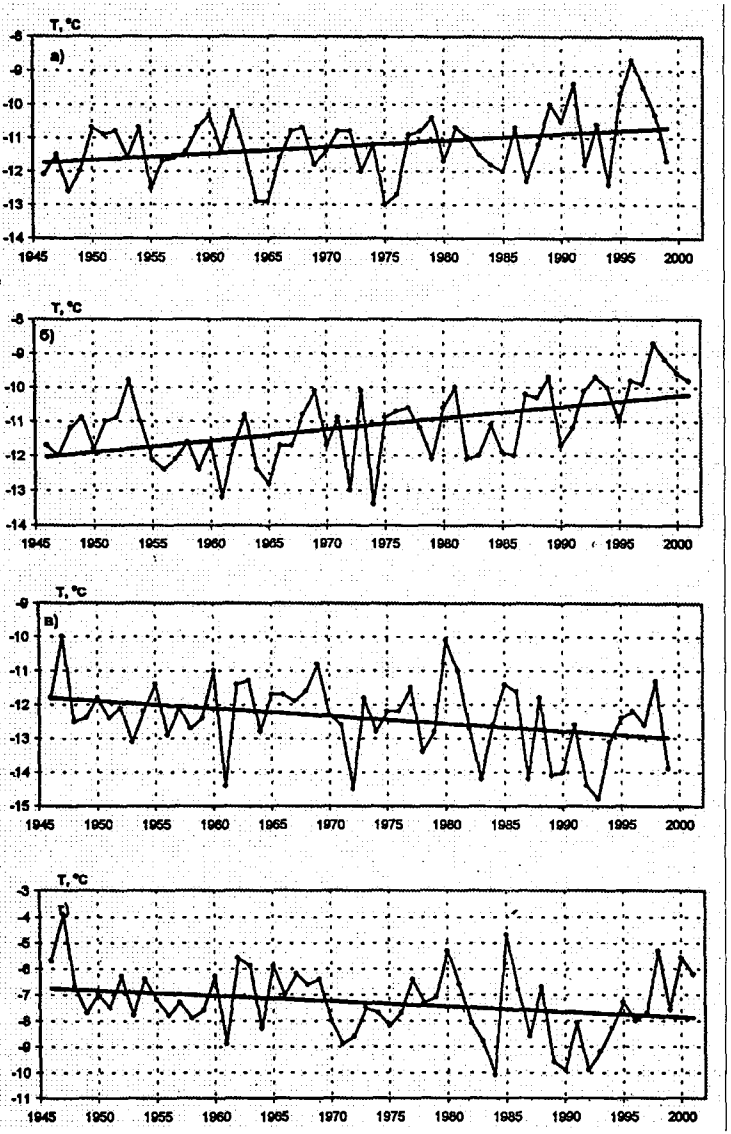


Рис. 8.4 – Линейные тренды изменений среднегодовой температуры воздуха на станциях о. Врангеля (а), Коппермайн (б), Клайд (в), Упернавик (г).

Следствием «глобального потепления» должно быть уменьшение ледовитости Полярных областей. Однако данные, приведенные в табл. 8.3, свидетельствуют о том, что анализ многолетних изменений ледовитости Северного Ледовитого океана не дает оснований говорить о повсеместном "глобальном потеплении".

Таблица 8.3

Величины линейных трендов и стандартные отклонения (δ) изменений ледовитости морей Северного Ледовитого океана в августе за 50 лет (1946–1995 гг.)

Море	Величина тренда за 50 лет, тыс км^2	Δ, тыс.км^2
Гренландское	–3	91
Баренцево	–36	81
Карское	49	148
Лаптевых	–7	112
Восточно-Сибирское	–72	139
Чукотское	30	53
Баффина и Дейвиса пролив	120	98

Это положение подтверждается и результатами обработки спутниковой информации. Согласно оценкам площадей распространения однолетнего и многолетнего льда в зимние периоды 1983–1988 и 1994–1999 гг. площадь многолетнего льда в секторе, ограниченном 40–105° в.д., оказалась в 90-е годы на 10 % больше, чем в 80-е.

Длинные ряды наблюдений за ледовитостью морей у побережья Антарктиды отсутствуют. Но даже результаты анализа коротких рядов (22 года), которые были в нашем распоряжении, не показывают тенденции к уменьшению ледовитости на максимуме ее развития в октябре (табл. 8.4).

Таблица 8.4

Величины линейных трендов и стандартные отклонения (δ) изменений ледовитости отдельных районов Южного океана в октябре за период 1973–1994 гг.

Район	Величина тренда, тыс.км^2	Δ тыс.км^2
Море Уэдделла	464	435
Море Содружества	18	204
Район у Земли Уилкса	–350	300
Море Росса	132	170
Море Амудсена	–139	335
Океан в целом	75	594

Палеоклиматические реконструкции, выполненные по материалам исследований глубоких шурфов в районе ст. Восток в Антарктиде, также свидетельствуют об относительной стабильности климатических условий в Центральной Антарктиде на протяжении двух последних столетий. Исследования баланса влаги в Восточной Антарктиде (74–146°в.д.), выполненные академиком В.М. Котляковым и другими, показали, что он положителен за весь период наблюдений (1956–2000 гг.), и это также противоречит утверждению о «глобальном потеплении» климата.

Можно привести целый ряд и других доказательств отсутствия в Арктических регионах планеты сколько-нибудь заметных проявлений «глобального потепления».

Исследования других авторов также подтверждают отсутствие заметных проявлений «глобального потепления» как в приземной температуре и ледовитости в Полярных районах, так и в изменениях осадков и стока рек, которые должны были бы увеличиваться. Так, например, исследования элементов пресноводного баланса морей Сибирского шельфа и их изменчивости показали, что приток пресных вод в шельфовую зону Сибири и вынос их в Арктический бассейн сокращались, а не увеличивались. Одновременно происходило осолонение в поверхностном слое вод Арктического бассейна, что также противоречит утверждению о «глобальном потеплении».

Конечно, нельзя игнорировать наблюдавшиеся в отдельных областях земного шара эффекты и явления, такие, как увеличение среднегодовой температуры воздуха, уменьшение ледникового щита в южной части Гренландии, сокращение ледяного покрова в западном районе Арктики, интенсификации ледяного стока в районе ледника Ларсена в западной Антарктиде и др. Эти явления действительно имеют место, и их возникновение требует научного объяснения. Это, безусловно, является актуальной проблемой. Однако, как показали исследования во всем мире, эти явления не имеют глобального масштаба, и более того, наряду с эффектами, подтверждающими наличие потепления, наблюдаются и явления, обратные по знаку (понижение температуры в отдельных районах Арктики и почти повсеместное в Антарктиде, рост ледовитости в восточном районе Арктики и т.д.), что ни в коем случае не подтверждает глобальность наблюдаемого потепления.

Большинство выводов о глобальном потеплении и катастрофических его последствиях делается на основе модельных расчетов. Сейчас существует около 30 моделей общей циркуляции атмосферы, которые и используются для прогноза климата. Однако в этой связи хочется вслед за К.Я. Кондратьевым привести слова известного американского специалиста В.Грея, который отметил, что «глобальные модели не способны ни прогнозировать, ни даже воспроизводить годовой ход температуры, ввиду очень большой сложности климатической системы. Модели превосходны, когда речь идет о расчетах на срок до 5–10 суток, но результаты численного моделирования климата оказываются не адекватными из-за слишком большой сложности климатической системы».

Хорошей иллюстрацией этому служит приведенный в Третьем итоговом докладе МГЭИК вывод о том, что «прогнозы, рассчитанные на основе сценариев выбросов, ... в соответствии с целым рядом моделей изменения климата свидетельствуют о повышении средней температуры поверхности Земли в глобальном масштабе в пределах от 1,4 до 5,8 °С в период с 1990 по 2100 г.». Пределы от 1,4 до 5,8° – такова на сегодня мера неопределенности моделей, по расчетам которых и прогнозируется «глобальное потепление». Но модели настроены на изменение только одного параметра – углекислого газа – и не могут привести ни к какому другому результату.

Палеоклиматология, которая исследует колебания климата во временных масштабах от тысяч до миллионов лет, и исторические письменные источники последних двух тысяч лет свидетельствуют о том, что климат в различных регионах Земли и в целом на Земле никогда не оставался постоянным. Изменения климата были очень значительны и были обусловлены естественными причинами, связанными с развитием и эволюцией Земли, астрономическими, геофизическими факторами, процессами взаимодействия океана и атмосферы и другими причинами, никак не связанными с деятельностью человека.

В настоящее время имеются убедительные доказательства существования в изменениях атмосферной циркуляции циклов в 2–4 года, 6–8, 10–12, 20, 50–60 лет и более длинных, обусловленных указанными выше факторами. Поэтому рост или падение температуры воздуха в течение 10–20 и даже 30 лет на достаточно больших

территориях в средних и высоких широтах, находящихся под влиянием западного переноса воздушных масс, не дают оснований трактовать это явление в качестве глобального изменения и использовать его для прогноза будущего состояния климата планеты. Прогноз климата, по нашему мнению, должен разрабатываться с учетом естественных климатообразующих факторов (в современных моделях это делается с их далеко не полным набором) и реальной оценки антропогенного воздействия.

Многие из наблюдаемых аномальных явлений в погоде на Земле действительно могут быть связаны с деятельностью человека, но совсем другого рода. Например, вырубка лесов и осушение болот – одна из основных причин катастрофических наводнений. С этим, а также с деградацией почв, опустыниванием, распашкой больших площадей под производство сельскохозяйственных культур может быть связано и повышение температуры воздуха в отдельных крупных регионах.

Основная глобальная экологическая проблема, стоящая перед человечеством, – это сохранение биоты Земли. Если мы не будем ее уничтожать, вырубая леса, уничтожая болота, загрязняя водоемы, моря и шельфовые зоны океанов, уничтожая почвенный покров Земли, то биота сама поможет нам решить многие из проблем, которые мы создали, в том числе и проблему выбросов в атмосферу Земли больших количеств углекислого газа.

8.2. Проблема сохранения озонового слоя на Земле

Озоновый слой, образовавшийся в атмосфере Земли около 400 млн. лет тому назад сыграл решающую роль в эволюции биосферы, поскольку позволил жизни выйти на сушу, защитив ее от воздействия жесткого ультрафиолетового излучения Солнца.

Максимальная концентрация озона сосредоточена в стратосфере на высотах 15 – 30 км (Рис. 8.5). Его масса невелика и при нормальном атмосферном давлении весь атмосферный озон образовал бы слой всего 3 мм толщиной. В полярных областях Земли озоновый слой толще и ближе расположен к поверхности земли, чем на экваторе.

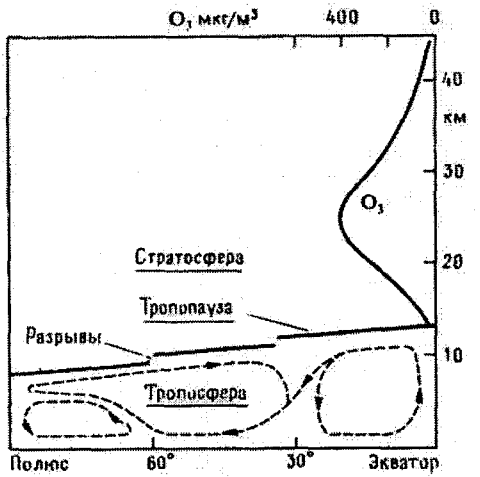


Рис. 8.5. Вертикальное строение атмосферы (по Г. Делленбергу, 1997).

Молекула озона состоит из трех атомов кислорода (O_3). Образование озона связано с фотохимическим разложением молекулярного кислорода (O_2) под действием коротковолнового ультрафиолетового излучения Солнца с длинами волн менее 242 нм:

$$O_2 \rightarrow O + O.$$

Далее, образовавшиеся атомы кислорода с помощью какого-либо вещества M (наиболее часто – азота), уносящего энергию и остающегося неизменным, вступают в соединение с молекулярным кислородом и дают молекулу озона:

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

Поскольку в атмосфере Земли полностью преобладает кислород, понятно, что существуют процессы реконвертирующие большую часть O_3 снова в O_2:

$$X + O_3 \rightarrow XO + O_2,$$

$$O_3 \rightarrow O + O_2,$$

$$O + XO \rightarrow X + O_2.$$

Здесь X и XO – это атомы и молекулы, катализирующие превращение озона в кислород. В обычных условиях такими катализаторами являются оксиды азота (NO и NO_2).

В последнее время накоплены данные по общему содержанию озона (ОСО) за несколько последних десятилетий. В результате этих наблюдений было установлено, что толщина озонового слоя отличается значительной изменчивостью как во времени, так и по пространству. Был замечен и глобальный спад ОСО в последние десятилетия XX столетия. Наконец, были зарегистрированы периодическое возникновение «озоновой дыры» в Антарктике рис. 8.6 и кратковременные, заметные спады ОСО в высоких широтах Северного полушария. В «озоновых дырах», обычно наблюдающихся весной Южного полушария, содержание озона падает часто на 40 % относительно среднего содержания. А это в свою очередь должно приводить к увеличению ультрафиолетовой радиации, достигающей земной поверхности, приблизительно в десять раз.

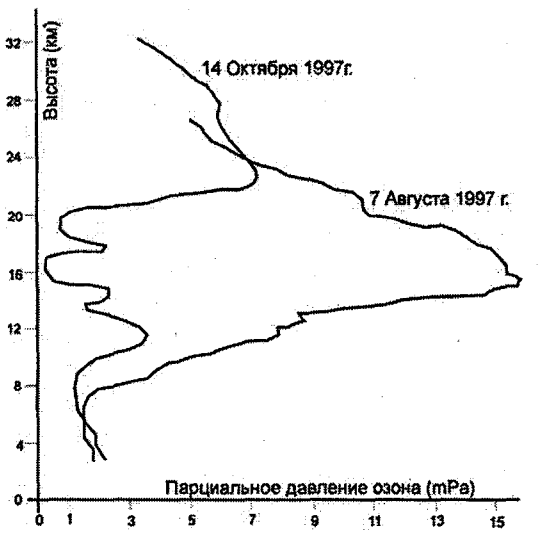


Рис. 8.6. Распределение концентрации озона в атмосфере над Антарктидой в «нормальных» условиях (в августе) и при развитой «озоновой дыре» (по Г.Н. Голубеву, 1999).

Эти факты очень насторожили человечество. Спад ОСО порождает усиление биологически активной ультрафиолетовой радиации, что обусловливает различные воздействия на экосистемы и человека. Данных о том, как влияют изменения ультрафиолетовой

радиации на экосистемы в естественных условиях, очень мало. Больше данных, полученных в опытах. Но известно, что, как правило, в полевых условиях чувствительность растений к изменениям ультрафиолетовой радиации оказывается более слабой.

В настоящее время установлено, что при росте интенсивности ультрафиолетовой радиации происходит уменьшение биомассы и ослабление процессов фотосинтеза. При этом обнаружено, что усиление ультрафиолетовой радиации наиболее заметно угнетает развитие сосны. Установлено также, что растения, развивающиеся в условиях дефицита влаги, реагируют на усиление ультрафиолетовой радиации слабее, чем хорошо обеспеченные влагой. Такой же эффект наблюдается и при дефиците фосфора. Обнаружено разрушительное воздействие усиления ультрафиолетовой радиации на первичную продуктивность в Антарктике, при этом нарушается резистентность фитопланктона.

В целом установлено подавление фотосинтетической деятельности на планете за последние 15 лет и уменьшение первичной продукции. Однако, насколько последнее связано именно с увеличением ультрафиолетовой радиации, далеко не ясно.

Усиление ультрафиолетовой радиации может приводить не только к подавлению фотосинтетической активности, но и к интенсификации разложения неживого органического вещества. Данные наблюдений свидетельствуют, что усиление ультрафиолетовой радиации благоприятствует распаду водных гумусовых веществ, а это, в свою очередь, влияет на динамику круговорота биогенов.

У человека с воздействием жесткой ультрафиолетовой радиации связаны различные формы рака кожи, болезни глаз, нарушения иммунной системы.

В настоящее время одной из основных задач в области экологии является необходимость изучения влияния изменений в интенсивности ультрафиолетовой радиации на целостные экосистемы (экосистемы суши, водные экосистемы, биохимические круговороты).

Какие факторы влияют на столь заметные колебания концентрации озона в озоносфере Земли? Прежде всего, необходимо обратить внимание на естественные факторы. Первое – это колебания солнечной радиации, связанные с изменениями солнечной активности, изменениями расстояния Земли от Солнца вследствие движения по ор-

бите и вращения всей солнечной системы вокруг общего центра тяжести. Второе – это влияние на процессы, происходящие в озоновом слое, атмосферной циркуляции. Строгой оценки роли влияния этих факторов на ОСО нет до настоящего времени, но вполне возможно, что их роль в изменчивости ОСО может быть определяющей.

Тем не менее еще в середине 70-х годов прошлого столетия американскими геохимиками Ш. Роуландом и М. Молина было высказано предположение, что возрастающее производство и применение хлорфторуглеродов, ранее не существовавших в естественной природе, может привести к деградации озонового слоя. Семейство хлорфтор(бром)углеродов насчитывает достаточно большое число синтезированных веществ, ряд из которых нашел применение как хладоносители (фреоны – CFCl1, CFCl2, CHClF2 и др.) в холодильниках и кондиционерах, а также в производстве аэрозолей. Их достаточно широкое распространение связано с их малой химической активностью.

Что же послужило основой думать, что да, именно фреоны являются причиной деградации озонового слоя и образования «озоновых дыр»? В 1987 г., во время проведения самолетного эксперимента по изучению озонового слоя в Антарктике, было обнаружено наличие высокой концентрации моноксида хлора (ClO) как раз в области озонового слоя. Тогда же был зафиксирован и очень сильный и продолжительный спад содержания озона в атмосфере Антарктиды в весенний период.

Хлорфторуглероды чрезвычайно устойчивы в тропосфере. Однако на высоте около 25 км под влиянием ультрафиолетового излучения происходит их разрушение с выделением атомов хлора (Cl) и молекул моноксида хлора (ClO), которые являются более сильными катализаторами разрушения молекул озона, чем оксиды азота:,

$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2,$$

$$ClO + O \rightarrow Cl + O_2.$$

При этом процессе один атом хлора может разрушить громадное число молекул озона.

После проведенного эксперимента и были сделаны выводы об ожидаемом в будущем дальнейшем сокращении озонового слоя, минимум содержания которого должен наблюдаться в начале XXI в.

Было также принято решение Мировым сообществом (Монреальский договор 1988 г.) о прекращении использования фреонов в холодильной промышленности полностью во всем мире к 2020 г., а в странах ЕС уже к 2010 г. Восстановление озонового слоя прогнозировалось только на середину XXI в., поскольку, как уже указывалось, хлорфторуглероды химически малоактивны и их предыдущее накопление за многие годы будет сказываться достаточно долго.

Однако прогноз во многом не оправдался. Уже к концу 90-х годов практически произошло в среднем восстановление озонового слоя, хотя и наблюдались колебания в его концентрации год от года. Это заставило многих ученых усомниться в том, что именно фреоны были главной причиной колебаний толщины озонового слоя как в Антарктике, так и в Северном полушарии. Есть основания полагать, что естественные причины колебаний содержания озона в атмосфере Земли могут играть более существенную роль по сравнению с антропогенным воздействием.

В заключение следует отметить, что глобальная экологическая проблема, связанная с сохранением озонового слоя на Земле, остается. Необходимы дальнейшие исследования причин обусловливающих заметные колебания толщины озонового слоя и реальной оценки роли антропогенного фактора в формировании этих колебаний. Пока однозначного ответа на эти вопросы у нас нет.

8.3. Проблема кислотных осадков

В естественных условиях атмосферные осадки нейтральны или имеют слабую кислую реакцию. Обычно дождевая вода имеет pH, равный 5,6. Данные исследований ледников Гренландии свидетельствуют, что 150 000–200 000 лет назад pH осадков находился в пределах 6,0–7, 6. Однако в последние 100 лет осадки стали значительно более кислыми. Точные измерения доли антропогенных кислотных загрязнений атмосферы стали проводиться только с середины XX столетия. В 60–70 –е годы во многих странах Европы и США наблюдались осадки, pH которых обычно была ниже 5,0 и часто достигала значений 4,0, 3,0 и менее. Так в ФРГ среднее значение pH осадков в 1980 г. составило 3,97. В Баварии фиксировались дожди с pH 3,5. В Шотландии и других районах Великобритании в 1973–1974 гг. наблюдались осадки с pH = 2,4 (pH уксуса). На западном побережье

Норвегии имели место осадки с pH = 2,7. Наиболее высокая кислотность осадков была зафиксирована в США, в штате Западная Вирджиния, где величина pH составила 1,5 (это среднее значение между pH аккумуляторной кислоты и лимонным соком).

В настоящее время принято считать, что «кислотные дожди» – это осадки с pH меньше 5,0. Основная причина возникновения кислотных осадков – это попадание в атмосферу оксидов серы и азота, но прежде всего диоксидов SO_2 и NO_2. Диоксид серы, попадая во влажную атмосферу, реагирует с водой, образуя сернистую кислоту:

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H + HSO^{3-} \rightarrow 2H + SO^{2-}.$$

Далее либо под каталитическим воздействием тяжелых металлов, либо по реакции с радикалами $OH^{\cdot}$, образовавшимися фотохимическим путем, превращается в серную кислоту:

$$SO_2 + 2OH^{\cdot} \rightarrow H_2SO_4.$$

Двуокись азота, вступая в реакцию с водой, образует азотную и азотистую кислоту:

$$2NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_2 + HNO_3.$$

В небольших количествах NO_2 может реагировать с радикалами $OH^{\cdot}$ с образованием азотной кислоты:

$$NO_2 + OH^{\cdot} \rightarrow HNO_3.$$

Образование кислотных осадков имеет как естественное, так и антропогенное происхождение. Основными природными источниками поступления в атмосферу оксидов серы и азота являются извержения вулканов, лесные пожары и пр. Антропогенное загрязнение атмосферы оксидами серы и азота связано в первую очередь со сжиганием минерального топлива, главным образом угля, в меньшей степени нефти и в еще меньшей степени газа на тепловых электростанциях, котельных, в металлургической и нефтехимической промышленности. Второй очень важный источник поступления в атмосферу, серы и прежде всего азота, это – автотранспорт. Наконец, источником поступления кислотных соединений в атмосферу может быть и сельское хозяйство.

Современные оценки показывают, что поступление оксидов серы и азота в атмосферу антропогенного происхождения превышают их суммарные естественные выбросы. Так, например, в 1990 г. ан-

тропогенная эмиссия диоксида серы в атмосферу втрое превысила природные выбросы, эмиссия азота – более чем вдвое.

Кислотные осадки наиболее широко распространены в развитых странах: Северной Америке, Европе, Японии, Китае и целом ряде регионов России. В последние годы, в связи с заменой угля на газ и нефть, в развитых странах происходит сокращение кислотных осадков. В то же время в развивающихся странах как повторяемость кислотных осадков, так и их распространение растет.

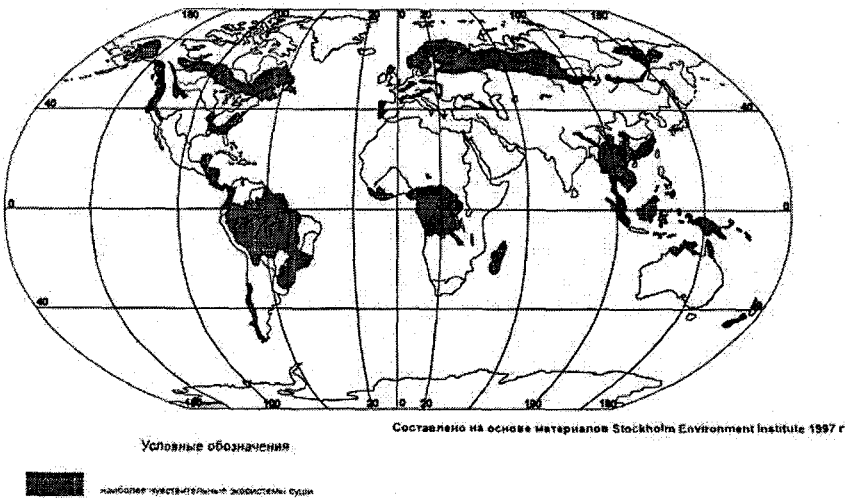


Рис. 8.7. Потенциальная чувствительность экосистем суши к кислотным осадкам (по Г.Н. Голубеву, 1999).

Чем опасны кислотные осадки для состояния экосистем и человека?

При выпадении кислотных дождей происходит закисление почв и водоемов. Особенно неблагоприятное воздействие кислых дождей на состояние экосистем проявляется в зонах избыточного увлажнения, особенно на Канадском и Фенно-скандинавском кристаллических щитах. Буферные способности почв здесь очень низки, нейтрализации кислотных осадков не происходит. Кроме того, почва и вода в этих зонах и так имеет более высокую кислотность рис. 8.7. Ранее мы уже рассматривали проблему закисления почв.

При закислении вымываются из почвы ионы, важные для питания растений, в целом меняется химический состав почв, ухудшается развитие микроорганизмов в почве. Все эти изменения подавляют рост растений. И прежде всего страдают леса, особенно хвойные. Так, наиболее сильно от кислотных дождей пострадали леса Канады, США и Европы.

При пороговой величине pH, равной 4,2, из почвы начинает вымываться алюминий, который накапливается в воде озер. Алюминий попадает в организм рыб и, будучи для них токсикантом, ведет к их гибели. При снижении кислотности вод менее 5,0 в организмах рыб начинают накапливаться и другие тяжелые металлы, особенно ртуть, очень опасная для человека. Для рыб пределы чувствительности к закислению лежат в пределах 5,0–4,5, в зависимости от вида рыбы. Самым чувствительным к закислению воды оказался карп.

У моллюсков, водорослей, планктонных организмов при pH воды меньше 5,2 нарушается кальциевый обмен, что также приводит к их гибели.

Таким образом, при закислении меняется структура водных экосистем, происходит их упрощение, и многие водоемы в результате закисления становятся практически безжизненными. От кислотных дождей особенно пострадали водоемы Канады, Скандинавии и частично Карелии.

Кислотные осадки оказывают влияние и на строительные объекты, разрушая известковую кладку, бетон и другие минеральные строительные материалы. Они влияют даже на стекло, выщелачивая силикаты. Большой ущерб наносится и изделиям из железа.

Как бороться с кислотными осадками? Единственный путь – это уменьшение выбросов в атмосферу оксидов серы и азота. Один из вариантов – перевод теплоэнергетики на газ, а в будущем – переход на нетрадиционные виды получения энергии. В транспорте – это продолжение совершенствования двигателей автомобилей и качества топлива и, возможно, в будущем переход на электоромобили.

Глава 9. ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСТОЩЕНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГИДРОСФЕРЫ

Вода – отличительная особенность нашей планеты. Именно вода стала средой для возникновения и эволюции первых этапов жизни. Вода входит в состав всех живых организмов. В то же время вода является самым используемым ресурсом на Земле. Отсюда и возникновение глобальных проблем, связанных с использованием воды, это истощение водных ресурсов и их антропогенное загрязнение.

9.1. Истощение подземных и поверхностных вод

Под истощением вод следует понимать недопустимое сокращение их запасов под влиянием антропогенной деятельности, нарушающее состояние водных и связанных с водой экосистем, и, таким образом, влияющее на жизнедеятельность самого человека. В табл. 9.1 представлены результаты оценки уменьшения водных ресурсов по странам мира и континентам и, в определенной степени, уровень загрязнения вод, который может характеризоваться кратностью разбавления сточных вод.

Если рассматривать проблему истощения водных ресурсов, то наиболее актуальна она для азиатского континента, где количество водных ресурсов уменьшилось уже на 10 %, а в таких странах, как Индия и Китай, уменьшение водных ресурсов заметно превышает эту величину, особенно в Индии. Россия входит в число стран с наиболее благоприятной ситуацией, таких, как Канада, Бразилия, Австралия. Однако ситуация очень варьирует по территории России. Рост использования воды на хозяйственные нужды особенно заметно сказался на истощении вод значительного числа рек и водоемов южной части Русской равнины и Северного Кавказа. В целом на остальной территории России положение относительно благополучное.

Таблица 9.1

Основные показатели водных ресурсов в мире на начало 1990-х годов (по И.С. Зайцевой, 2000)

Континенты, страны	Водные ресурсы, км^3/г	Антропогенная нагрузка на водные ресурсы, млн чел/км^3	Водо-забор, км^3	Сброс сточных вод, км^3	Кратность разбав-ления сточных вод, раз	Безвозврат-ный расход, км^3	Испарение с поверхности водохрани-лищ, км^3	Уменьшение водных ресурсов, %
Европа	3 030	0,24	480	365	8	115	15	4
Азия	14 750	0,22	2050	610	24	1440	40	10
Северная Америка	6 090	0,07	600	415	15	185	25	3
Южная Америка	10 400	0,03	130	60	170	70	15	1
Африка	4 220	0,15	170	50	84	120	40	4
Австралия и Океания	1 670	0,02	20	10	170	10	5	1
Мир в целом	40 160	0,13	3450	1510	27	1940	140	5
США	2 380	0,1	470	340	7	130	11	6
Канада	2 770	0,01	45	38	73	7	6	0
Мексика	350	0,24	80	35	10	45	6	15
Аргентина	290	0,11	30	13	22	17	1	6
Бразилия	5 670	0,03	35	20	284	15	9	0
Германия	105	0,76	45	38	3	7	0	7
Франция	170	0,33	40	34	5	6	0	4
Россия	4 040	0,04	110	70	58	40	10	1
Китай	2 900	0,40	545	165	18	380	5	13
Индия	1 590	0,53	560	135	12	425	13	28

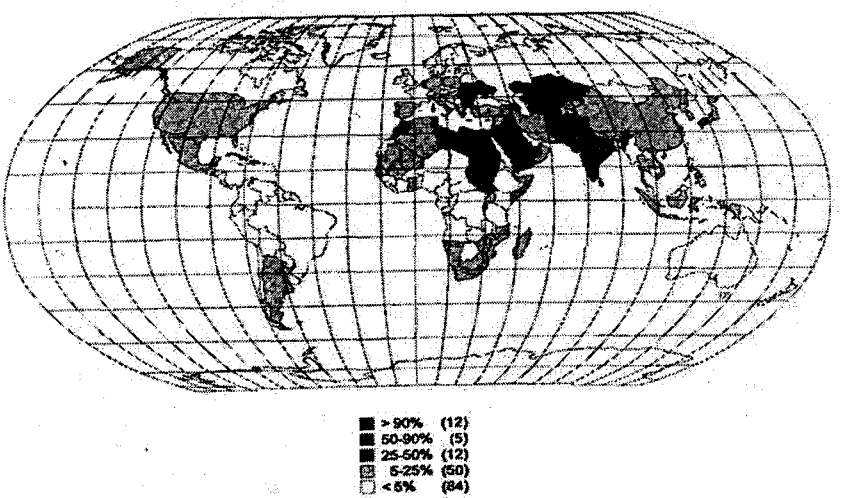


Рис. 9.1. Уменьшение водных ресурсов (по И.С. Зайцевой, 2000).

Уменьшение водных ресурсов, как и их загрязнение, связано в первую очередь с ростом численности населения и активизацией хозяйственной деятельности. Антропогенная нагрузка на водные ресурсы постоянно возрастает. За период с 1950 по 1990 г. она возросла более чем в два раза, особенно в Африке, Азии и Южной Америке, где очень быстро растет население. Пока что есть все основания полагать, что в ближайшие десятилетия истощение водных ресурсов будет возрастать, и особенно в Азии и Африке.

Наиболее восприимчивы к антропогенному воздействию малые реки. Непродуманное хозяйственное использование их водных ресурсов и прилегающих земельных территорий приводит к их истощению, а нередко и просто к исчезновению. Так, состояние многих малых рек и озер, особенно в Европейской части России, достаточно тяжелое. Сток ряда рек снизился более чем наполовину, а некоторые вообще прекратили свое существование. Снижение стока, понижение уровня грунтовых вод, вырубка лесов, мелиорация привели к исчезновению и многих малых озер.

Наряду с поверхностными водами происходит прогрессирующее истощение и грунтовых вод. Уровень грунтовых вод понижается во многих странах мира. Грунтовые воды активно используются

для орошения сельскохозяйственных полей, питьевого водоснабжения и даже промышленного. Пополнение же их значительно сократилось вследствие исчезновения лесов и болот, деградации земель. В зонах активного использования воды для орошения в последние десятилетия наблюдается снижение уровня грунтовых вод уже не на метры, а на десятки метров. Так, в Северном Китае уровень грунтовых вод повсеместно снизился на 30 м. В районах всех промышленных городов мира, в том числе и городов России, где длительное время шла эксплуатация подземных вод, сформировались депрессии с глубинами до 100 м. и более (например, в Москве глубина такой депрессии составляет 70 – 80 м.).

В связи с истощением подземных вод изменяются условия их взаимодействия с другими компонентами природной среды, поскольку все они тесно связаны между собой: уменьшается поверхностный сток, исчезают родники, ручьи и небольшие реки, осушаются заболоченные территории, иссушаются леса, гибнет влаголюбивая растительность. В целом меняется структура экосистем, и большей частью не в лучшую сторону.

Какой путь необходимо выбрать, чтобы уменьшить проблему истощения водных ресурсов на Земле? Только, по-видимому, один – более экономное использование имеющихся ресурсов воды. Дело в том, что водные ресурсы используются неэффективно практически во всех странах мира и во всех отраслях народного хозяйства.

Главный пользователь воды в мире – ирригация. На долю ирригации приходится в среднем 65 % всей забираемой воды. В ряде аридных районов мира этот показатель намного выше, достигая в Египте 98 %. Как правило, эффективность использования воды при орошении очень низка. По оценкам менее половины воды, забираемой на орошение, используется растениями. Рационализация оросительных систем может на 75 % снизить современные затраты воды на орошение.

Забор воды для промышленных нужд составляет в среднем около 25 %, а в отдельных развитых странах доходит до 70–80 % от суммарного водопотребления. При этом в зависимости от технологии производства количество потребляемой воды на единицу продукции для одинаковых товаров может меняться более чем в 10 раз.

Поэтому водопотребление в промышленности вполне можно уменьшить во столько же раз.

Городское население потребляет около 10 % от всего объема забираемой воды. Казалось бы, системы городского водоснабжения наиболее совершенны, обходятся весьма дорого и постоянно контролируются. Тем не менее и здесь величина потерь составляет около 50 %. Города растут, и необходимо строительство все новых и новых систем водоснабжения. Однако, по оценке Всемирного банка, при потерях воды в 25 % их снижение экономически более целесообразно, чем строительство новых дополнительных систем водоснабжения. По оценкам специалистов в домашнем хозяйстве можно добиться экономии до 50–70 % воды.

Таким образом, даже при росте населения можно добиться не только прекращения роста потребления воды, но даже его снижения при рационализации использования воды в сельском хозяйстве, промышленности и коммунальной сфере. Но все это требует определенных финансовых вложений.

9.2. Проблемы, связанные с загрязнением поверхностных и подземных вод суши

Во всем мире идет постоянное и достаточно интенсивное загрязнение поверхностных и подземных вод рис. 9.2. Установлено, что более 400 видов различных веществ сбрасывается в воду, многие из которых вызывают ее загрязнение. К основным источникам загрязнения вод относятся следующие: 1) сброс в водоемы неочищенных или плохо очищенных сточных вод; 2) смыв ядохимикатов ливневыми осадками, в том числе с сельскохозяйственных угодий и автострад; 3) поступление различных веществ из атмосферы вместе с осадками; утечки нефти и нефтепродуктов.

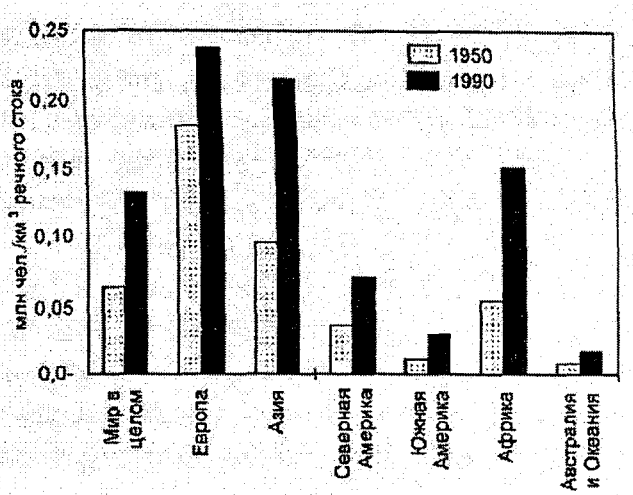


Рис. 9.2. Антропогенная нагрузка на водные ресурсы (по И.С. Зайцевой, 2000).

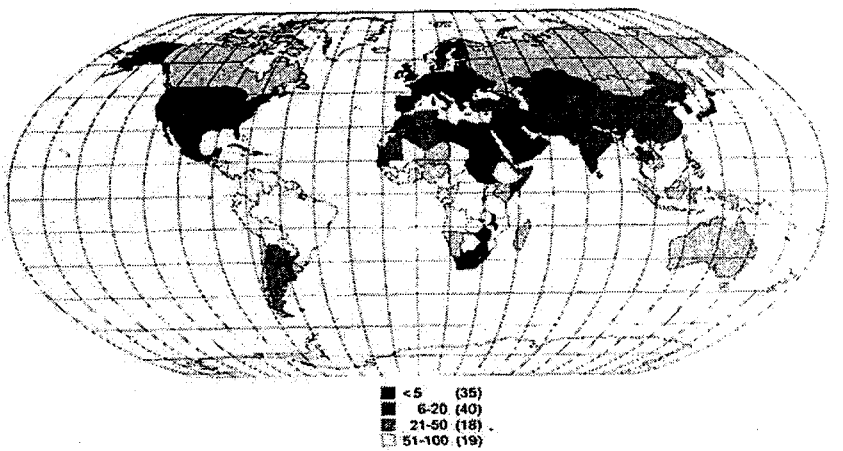


Рис. 9.3. Кратность разбавления сточных вод (по И.С. Зайцевой, 2000).

Очень масштабное загрязнение поверхностных вод во всем мире происходит за счет поступления в них органических соединений. Они поступают в воду со сточными водами коммунального бытового сектора, с сельскохозяйственных территорий, включая площади, зани-

маемые животноводческими комплексами, и с осадками из атмосферы. Роль последних может быть довольно существенной. Так, например, плотность выпадения аммонийного азота из атмосферы на Европейской территории России оценивается в среднем в 0,3 т/км^2. Загрязнение вод органикой и органическими соединениями породило одну из наиболее серьезных глобальных экологических проблем, с которой столкнулось человечество.

9.2.1. Евтрофикация водоемов

Евтрофикация свойственна всем водоемам, но в естественных условиях – это медленно развивающийся процесс, который обычно протекает достаточно незаметно. Однако при избыточном поступлении биогенов, т.е. соединений фосфора и азота в реки, озера и водохранилища, процесс евтрофикации резко интенсифицируется и часто носит взрывной характер. Начинается бурный рост водорослей и макрофитов, а это в свою очередь ведет к росту численности зоопланктона и высшей фауны. С ростом количества живых организмов увеличивается и количество отмирающих организмов. При обычном развитии водоема в его водах содержится достаточное количество кислорода для существования аэробных организмов, разлагающих отмирающую органику. При бурном же росте числа отмерших организмов резко возрастает расход кислорода. Растения за счет фотосинтеза уже не могут восполнить его расход в полном объеме. Поступление из воздуха, особенно в условиях закрытости водоема, идет медленно. Поэтому через определенное время начинает наблюдаться дефицит кислорода и даже его полное исчезновение в придонных горизонтах. Аэробные микроорганизмы погибают, а на их место приходят анаэробные микроорганизмы, которые разрушают органику путем брожения. После анаэробного распада органики образуются такие соединения, как CH_4, CO_2, H_2O, NH_3 и H_2S. Происходит такое изменение состава воды, которое делает невозможным ее возвращение к аэробному состоянию в обозримом будущем. Аммиак (NH_3) и сероводород (H_2S) отравляют воду. Меняется полностью структура экосистемы водоема, она предельно упрощается. Из нее исчезает рыбное население, большинство бентосных организмов, зоопланктона. В фитопланктоне полностью доминируют сине-зеленые. Такие водоемы настолько обеднены вида-

ми живых организмов, что их можно отнести к деградированным, на берегах которых становится невозможной даже рекреация.

С проблемой евтрофикации человечество столкнулось в полной мере во второй половине XX столетия. К сожалению, прогнозы свидетельствуют, что этот процесс будет расширяться и усиливаться. В настоящее время процессы антропогенной евтрофикации охватили не только множество мелких и средних озер, но и такие крупные озера мира, как Великие Американские озера, Балатон, Ладожское, Женевское, а также большинство водохранилищ мира, в том числе и водохранилища на Волге и Днепре. Даже многие реки, особенно мелкие и средние, подвержены процессу евтрофикации.

9.2.2. Закисление водоемов

Считается, что природные воды находятся в стадии закисления, если показатель кислотности pH равен или меньше 5,0. Особенно большое закисление испытывают водоемы в зонах избыточного увлажнения. Например, в Швеции насчитывается 85 000 озер с pH меньше 5,0. В 14 000 озер погибли наиболее чувствительные к уровню кислотности виды, а 2 200 озер стали практически безжизненными. В Финляндии закислению подверглись 500 озер из 8 000. В Канаде 14 000 озер также подвержены закислению, из них в 2 000 озер нарушены экосистемы, т.е. погибло рыбное население и часть бентосных организмов. В Норвегии в 1 750 озерах погибла вся рыба, а в еще большем количестве она заметно поражена. В США по данным фонда окружающей среды 3 000 почти кислых озера и около 1 000 подкисленных. В 148 озерах США жизнь исчезла.

Хотя Центральная Европа, благодаря свойству ее почв, менее подвержена закислению, тем не менее буферные способности ее почв также оказались не беспредельны. Имеются указания на закисление озер в Дании, Великобритании, Германии, Нидерландах, Австрии и Швейцарии.

С закислением озер, как и почв, можно в какой-то степени бороться. Прежде всего – это снижение выбросов в атмосферу оксидов серы и азота, что ведет к уменьшению выпадения кислотных осадков в бассейнах озер. Второй путь – это известкование воды, наподобие тому, как это делается при известковании почв. Пионером таких работ выступает Швеция, в наибольшей степени постра-

давшая от закисления ее водоемов. Известкование в Швеции проводится на 3 000 озер. При известковании необходимо учитывать изменения содержания тяжелых металлов в озере (кадмия, ртути, никеля, хрома, меди, цинка), поскольку известняк содержит их в определенных концентрациях, и можно, уменьшив кислотность, увеличить содержание тяжелых металлов в воде озера.

После известкования химическое состояние воды озера улучшается довольно быстро. Восстановление экосистемы озера, напротив, происходит медленно, но тем не менее относительно быстро наступает общее оздоровление водоема.

9.2.3. Загрязнение грунтовых вод

Кроме поверхностных вод, идет постоянное загрязнение подземных вод. Особенно сильно загрязняются подземные воды в районах крупных промышленных центров и крупных городов. Практически везде, где проживает большое количество людей, загрязняются грунтовые воды. Значительное загрязнение грунтовых вод происходит и в зонах активного земледелия вследствие применения большого количества удобрений и пестицидов.

На рис. 9.4 приведена схема источников загрязнения подземных вод, хотя и далеко не полная, она дает общее представление о причинах загрязнения подземных вод в районах промышленных центров. Исключительно большой вред качеству подземных вод наносят многочисленные свалки бытовых и промышленных отходов, окружающие крупные города, а также отстойные пруды и стоки с автострад.

Важно подчеркнуть, что загрязнение грунтовых вод не ограничивается площадью предприятий, свалок и других загрязняющих объектов, а распространяется в стороны от них на десятки километров.

Учитывая, что грунтовые воды «отрезаны» от атмосферного кислорода, возможность их самоочищения очень низкая, ибо микроорганизмам для разрушения органики необходим кислород, а доля органических загрязнителей подземных вод очень велика.

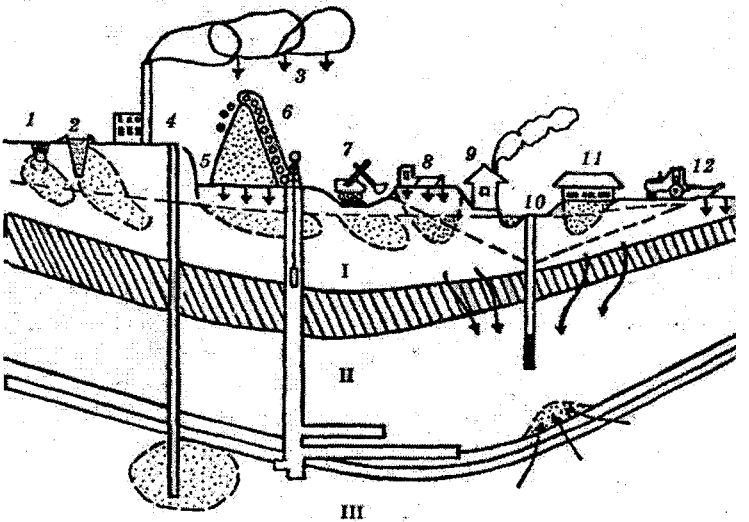


Рис. 9.4. Схема источников загрязнения подземных вод (по В.А. Шемелиной, 1989): I – грунтовые воды, II – напорные пресные воды, III – напорные соленые воды.: 1– трубопроводы, 2 – хвостохранилище, 3 – дымовые и газовые выбросы, 4 – подземные захоронения промстоков, 5 – шахтные воды, 6 – терриконы, 7 – карьерные воды, 8 – заправочные станции, 9 – бытовое загрязнение, 10 – водозабор, подтягивающий соленые воды, 11 – объекты животноводства, 12 – внесение удобрений и пестицидов.

Загрязнение подземных вод может сказываться на качестве поверхностных вод, поскольку родники, выносящие грунтовые воды к поверхности, питают многие водные объекты. Но самое главное, что загрязнение грунтовых вод создает реальную угрозу питьевому водоснабжению, поскольку во многих районах мира питьевое водоснабжение обеспечивается из артезианских скважин.

9.2.4. Проблема питьевого водоснабжения

Осознание того, что питьевая вода может способствовать распространению болезней, впервые появилось у древних греков. Великий Гиппократ советовал кипятить или фильтровать воду, прежде чем ее пить. Но тем не менее и до сих пор люди заражаются через питьевую воду, а также получают болезни внутренних органов, потребляя некачественную воду.

Брюшной тиф, холера, паратиф, дизентерия и другие болезни желудочно-кишечного тракта могут распространяться с водой. К началу прошлого века это стало понятно всем. В 1902 г. В Бельгии стали применять хлорирование воды, а двумя годами позже в Лондоне руководство лондонского водопровода начало регулярное хлорирование воды. В 1908 г. и в США стали использовать этот метод для обеззараживания воды. Казалось, что к середине XX столетия был достигнут определенный успех. Количество передающихся через воду заболеваний сократилось в четыре раза.

Однако в 70-е годы XX столетия заболеваемость снова выросла более чем в три раза. В 70-х годах ежегодно фиксировалось 34 вспышки заболеваний через питьевую воду. Это такие заболевания как гастроэнтерит (65 % случаев), лямблиоз (11 %), бактериальная дизентерия (10 %), гепатит А (8 %), сельмонеллез (4 %), брюшной тиф (2 %) и, кроме того, такое серьезное заболевание, как серозный миненгит (вследствие купания в воде).

Индикатором бактериального и вирусного загрязнения воды является бактерия, населяющая кишечник теплокровных животных, – кишечная палочка. Эта бактерия редко сама вызывает заболевание, но является хорошим индикатором наличия бактериального и вирусного загрязнения. Вода считается безопасной для питья, если в 100 мл. воды содержится одна или менее кишечных палочек.

Но, кроме бактериального и вирусного загрязнения, питьевая вода может быть загрязнена различными химическими токсическими веществами. До недавнего времени на химическое загрязнение питьевой воды обращали внимание только, когда для питьевого водоснабжения использовали поверхностные воды. Но, как уже было сказано, в настоящее время и грунтовые воды оказались сильно загрязнены, особенно в пределах крупных городов и их пригородов.

В 80-е годы прошлого столетия в США провели исследование питьевой воды из подземных источников, и оказалось, что в 30 % систем питьевого водоснабжения из подземных источников обнаруживают загрязнения грунтовых вод синтетическими органическими веществами и тяжелыми металлами. Из обнаруженных синтетических органических веществ можно выделить трихлорэтилен, толуол, трихлорэтан, хлористый этилен, а из металлов – кадмий, мышьяк, свинец и ртуть. Было обнаружено присутствие в питьевой воде также нитратов.

В последние годы, особенно в США, уделяется большое внимание обнаружению в питьевой воде еще одного загрязнителя – асбеста. Последствия загрязнения питьевой воды частицами асбеста в настоящее время достаточно изучены. Это асбестозы и раковые заболевания легких, кожи и желудочно-кишечного тракта. Этот вид загрязнений особенно нарастал, когда в водопроводных системах стали использовать асбестовые трубы. В настоящее время их использование запрещено.

В целом, по мере накопления данных, становилось все очевиднее, что в отличие от микроорганизмов, создающих угрозу здоровью людей при кратковременном контакте, химические вещества, особенно органические синтетические соединения, потенциально опасны в долгосрочном плане. Их воздействие может сказаться после многих лет потребления питьевой воды, содержащей эти вещества (раковые и иные хронические заболевания). Кроме того, они способны оказывать влияние на потомство.

В этой связи понятие токсичности минеральных соединений и химических веществ, содержащихся в питьевой воде, должно быть достаточно широким и включать в себя такие генетические изменения, как канцерогенные, мутагенные и тератогенные (тератоген – вещество, которое действует на зародыш человеческого организма и способно вызвать физические или функциональные его дефекты). Последние изменения могут иметь прогрессирующий и кумулятивный характер.

Единственный путь сделать питьевую воду качественной – это прекратить загрязнение поверхностных и грунтовых вод, а пока заниматься очисткой и обеззараживанием используемой для питья воды.

Существуют стандарты качества питьевой воды по химическому составу (международный, европейский, США и др.). Естественно, европейский и американский стандарты более жесткие, чем международный. В России ГОСТ на питьевую воду также довольно жесткий, но, к сожалению, он далеко не всегда соблюдается.

Для примера в табл. 9.2 приведен европейский ГОСТ на качество питьевой воды.

Что касается развитых стран, то подготовка воды в системах питьевого водоснабжения налажена достаточно неплохо. Но даже в этих странах ее нельзя во всех случаях признать удовлетворитель-

ной. В развивающихся, бедных странах иногда системы канализации и очистки воды просто отсутствуют, а водоподготовка в системе питьевого водоснабжения далека от совершенства.

В результате около 80 % всех заболеваний в мире вызвано водой неудовлетворительного качества. В развивающихся странах 25 млн. человек ежегодно умирает вследствие воздействия патогенов и загрязненной питьевой воды. От диареи умирает ежегодно 3 млн. детей в возрасте до 5 лет.

Таблица 9.2.

Нормы качества питьевой воды стран Европы

Вещество	Концентрация, мг/л
Хлориды	25
Сульфаты	25
Кальций	100
Магний	30
Натрий	20
Калий	10
Алюминий	0,05
Нитраты	25
Нитриты	–
Аммоний	0,05
Бор	1,0
Железо	0,05
Марганец	0,02
Медь	0,1
Цинк	–
Фтор	0,9
Хлорорганические вещества (без пестицидов)	0,001
Элетропроводность	400 мксим/см
pH	6,8–8,5

Более одного миллиарда человек в мире не обеспечено чистой питьевой водой. В России население во многих городах и регионах также не обеспечено питьевой водой удовлетворительного качества. Почти 30 % исследуемых проб воды не отвечают гигиеническим требованиям по санитарно-химическим и микробиологическим показателям.

Таким образом, деградация природных вод во всех странах является одной из приоритетных глобальных экологических проблем, на которую, к сожалению, пока что обращается внимания куда

меньше, чем на проблему «глобального потепления». Последствия деградации природных вод для существования человека могут оказаться куда более губительными, чем представляется нам в настоящее время.

9.3. Проблема загрязнения Мирового океана

Мировой океан по сравнению с водами суши кажется неисчерпаемым источником чистой, хотя и соленой, воды. Океаны и моря покрывают 71 % общей площади нашей планеты и содержат 96,4 % общего объема гидросферы. Поэтому долгое время казалось, что океан способен выдержать любые объемы сбрасываемых в него загрязняющих веществ антропогенного происхождения.

Но океан – это конечный аккумулятор загрязнений атмосферы (до 40 % общего количества загрязнений), бассейнов рек и прибрежных территорий (также около 40 %). Кроме того, океан сам стал территорией активной хозяйственной деятельности человека, все отходы которой поступают в океан (около 20 %). Почти половина нефти, (а скоро будет и газа) добывается со дна морей. Уже более 80 государств ведут добычу нефти со дна моря. Со дна морей добывается 90 % брома, 60 % магния, 30 % поваренной соли, 50 % – циркония и рутила. Добывается также олово, золото, алмазы и гигантское количество строительных материалов. Около трех четвертей всего мирового грузооборота приходится на морской транспорт. Более половины всех крупных городов мира расположены в прибрежной зоне или вблизи нее. В этой зоне проживает более полутора миллиардов человек.

Поэтому, несмотря на гигантские размеры океана, его экосистемы во второй половине XX столетия стали ощущать антропогенный стресс.

9.3.1. Евтрофирование внутренних морей и океанического шельфа

Ежегодный речной сток поставляет в Мировой океан более $20 \cdot 10^9$ т взвешенных веществ и растворенных солей. В числе этих веществ заметная доля принадлежит органическим соединениям. Большое количество в прибрежные районы океана поступает азота,

фосфора, кремния и просто органики с прибрежных территорий со стоками из больших городов и сельскохозяйственных угодий.

Следует заметить, что потоки биогенов в океан существовали всегда за счет естественных источников. Однако антропогенные сбросы, по наиболее заслуживающим доверия оценкам, сейчас заметно превосходят естественные потоки азота и фосфора в океан. Так, азота сбрасывается $32 \cdot 10^6$ т/год, а фосфора – $3{,}75 \cdot 10^6$ т/год. В то же время естественные природные потоки составляют: азота $15 \cdot 10^6$ т/год и фосфора – $1 \cdot 10^6$ т/год.

Такое возрастание поступления органических веществ в прибрежные зоны и внутренние моря привело к процессу их евтрофикации. Как и во внутренних водоемах, евтрофикация ведет к деградации экосистем, их упрощению и, в первую очередь, к сокращению рыбного населения, у большей части которого жизненные циклы связаны именно с шельфовой зоной. Несомненно, что сокращению рыбного населения способствовал и бесконтрольный вылов ценных видов рыбы, который осуществлялся странами, несмотря на договоренности о квотах вылова.

Заметной евтрофикации подверглись такие моря, как Балтийское, Черное, Средиземное, Мексиканский залив и др. Заметной евтрофикации подверглись также шельфы Европы.

9.3.2. Загрязнение углеводородами

Загрязнение углеводородами является одним из наиболее опасных с точки зрения воздействия на морские экосистемы. К таким загрязнениям относится, в первую очередь, загрязнение сырой нефтью, имеющее наибольшее распространение. Затем загрязнение полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ). Всего насчитывается около 200 соединений ПАУ. Однако наиболее широко распространен бензапирен, а также антрацен, хризен, пирен и флуорантен. И, наконец, загрязнение хлорированными углеводородами, среди которых наиболее опасны полихлорированные бифенилы (ПХБ) и пестициды.

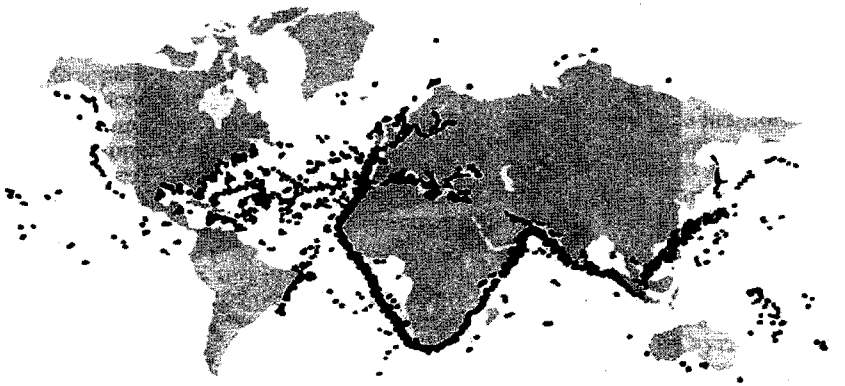


Рис. 9.5. Расположение видимых нефтяных пятен в морях на начало 80-х годов. Дистанционный контроль над состоянием поверхности океана позволяет определять местонахождение нефтяных пятен и мест выбросов их в воды океана (из International Oceanographic Commission, UNESCO).

Согласно современным оценкам, от непосредственной хозяйственной деятельности в океане ежегодно в него поступает до 2,6 млн. т нефти (рис. 9.5). Для сравнения – природные поступления нефти составляют около 0,25 млн. т. Примерно 0,3 млн. т добавляется в океан из атмосферы и еще около 1,1 млн. т с прибрежных территорий. Самыми загрязненными нефтью районами Мирового океана являются Средиземное и Северное моря.

Из состава сырой нефти наиболее токсичны легкие и ароматические фракции. Однако низкомолекулярные фракции быстро испаряются и производят малый поражающий эффект на морские экосистемы. Таким образом, испарение – это первый процесс трансформации нефтяного загрязнения в океане (рис. 9.6).

Основную судьбу нефти в океане решают бактерии. Именно бактериальная трансформация и окисление нефти позволяет Мировому океану обходится без постоянной пленки нефти на его поверхности и, таким образом, спасают жизнь в Мировом океане. При этом экспериментально доказано, что смешанное бактериальное население более эффективно разрушает различные типы сырой нефти, чем отдельные штамы. По оценкам в среднем 50–60 % нефти, попадающей в океан, окисляется морскими бактериями.

Чем опасно загрязнение сырой нефтью?

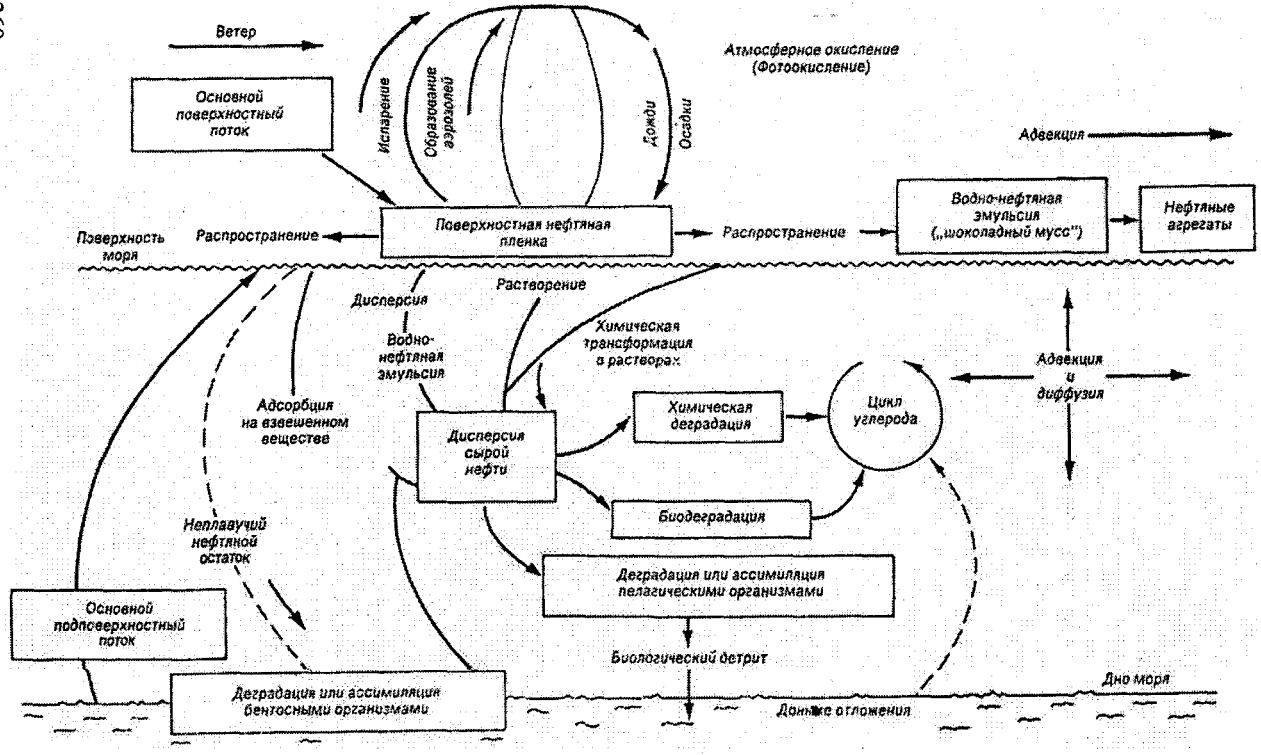


Рис. 9.6. Схематическое изображение физических, химических и биологических процессов разрушения нефти в море (по Ю.А. Израэль, А.В. Цюбань, 1989).

1. Катастрофические разливы нефти вызывают массовую гибель водной и донной фауны и флоры и особенно в больших масштабах поражают птиц. Так, в Северной Атлантике и Северном море от загрязнения оперения нефтью ежегодно погибает от 150 до 450 тысяч птиц.

2. Нефть влияет на структуру морских экосистем. Как и в случае евтрофирования, структура упрощается, уменьшается видовое разнообразие, обильно развивается углеводородоокисляющая микрофлора, биомасса которой токсична для многих гидробионтов.

3. Зоопланктоном, поедающим нефть, питается рыба и в результате товарные качества такой рыбы резко снижаются.

Полициклических ароматических углеводородов поступает в океан, казалось бы, немного, по сравнению с нефтью. Так, наиболее распространенного бензапирена всего несколько десятков тонн. Однако, будучи активными мутагенами и канцерогенами, эффективно влияющие дозы ПАУ на гидробионтов малы.

ПАУ накапливаются в поверхностных слоях океана и донных отложениях. Наибольшие загрязнения характерны для бухт, заливов, замкнутых и полузамкнутых морских бассейнов, подверженных интенсивному антропогенному воздействию. Наиболее высокие уровни содержания ПАУ наблюдаются в бассейнах Северного, Каспийского, Средиземного и Балтийского морей.

Накопление ПАУ в морской воде, особенно в воде продуктивных прибрежных зон, вызывает адсорбцию этих соединений на поверхности организмов, как это отмечено у дафний, а также активную внутриклеточную аккумуляцию. Накопление ПАУ идет и в тканях бентосных организмов и объектов ихтиофауны. Установлена прямая корреляция между концентрацией ПАУ и частотой появления опухолей у рыб. Происходит снижение воспроизводства рыб, у них наблюдаются генетические изменения. Все это в конечном итоге представляет опасность для человека.

Так же как и в случае с нефтью, определяющую роль в сохранении относительной чистоты океана играет ПАУ – трансформирующая микрофлора. Так, в случае с бензопиреном (БП), выделенные из воды штаммы бактерий обладали способностью к трансформации до 60–70 % вносимого бензопирена. Длительные исследования в Балтийском море свидетельствуют о широком распространении БП – трансформирующей микрофлоры.

Хлорированных углеводородов поступает в океан значительно больше по сравнению с ПАУ. По современным оценкам почти 400 000 т только полихлорированных бефинилов поступило в окружающую среду и более половины из них находится в водах Мирового океана. ПХБ широко используются в промышленности, поскольку химически они инертны, обладают малой летучестью, не горят, имеют высокую диэлектрическую константу. Это – диэлектрики в трансформаторах и крупных конденсаторах, в системах теплопередачи и гидравлических системах. Они входят в состав смазочных и охлаждающих масел, пестицидов и т.д.

Хлорированные углеводороды содержатся в воде в основном в эмульгированном виде, а накопление их происходит в донных осадках. Поскольку они хорошо растворяются в жирах, они накапливаются в морских организмах. При этом чем выше организм в трофической цепочке, тем больше накопление.

Таблица 9.3

Накопление хлорированных углеводородов в гидробионтах по сравнению с их концентрацией в морской воде Тихого океана (по Ю.А. Израэль и А.В. Цыбань, 1989)

Объект	ПХБ нг/г	ДДТ нг/г
Океанская вода	0,04 – 0,59	0,006 – 0,48
Зоопланктон (копеподы)	1,8	1,7
Миктофиды (свет. анчоус)	48	43
Кальмары	35 – 95	16 – 28
Полосатый дельфин	2 800 –4 100	4 200 – 6 000

Хлорированные углеводороды очень устойчивы и сохраняются в организме в течение длительного времени. В морской воде они, так же как и ПАУ, могут разлагаться природными популяциями микроорганизмов, но в основном это относится к монохлорбефинилам и отчасти к дихлорбефинилам. Существует и фотохимическое разложение хлорированных углеводородов, но скорость его невелика и период полураспада, например ПХБ измеряется годами.

9.3.3. Загрязнение тяжелыми металлами

Тяжелые металлы поступают в океан с атмосферными осадками, материковым стоком, от непосредственной деятельности человека в море и с прибрежных территорий. Для морских биоценозов наиболее опасны ртуть, свинец и кадмий.

Наибольшее загрязнение Мирового океана тяжелыми металлами наблюдается в основном в прибрежных водах, в местах прямого сброса сточных вод с прибрежных территорий и во внутренних морях. При этом их концентрация в поверхностном слое выше, чем в подповерхностном. Накопление тяжелых металлов происходит в донных отложениях, где их концентрации значительно выше, чем в воде. Наиболее загрязненными являются воды Средиземного моря (ртуть, свинец), Балтийского моря (кадмий), Северного моря (кадмий, свинец, ртуть), а также шельфовые воды США, Мексиканский залив, шельфовые воды Норвегии, Великобритании, Франции и Японии.

Все тяжелые металлы в той или иной степени аккумулируются морскими организмами и накапливаются в различных тканях. Так, например, в жабрах рыб наиболее активно накапливается свинец, а в тканях – ртуть. Устрицы накапливают ртуть более активно, чем другие металлы. Свинец и кадмий более активно аккумулируется моллюсками.

Под влиянием тяжелых металлов, как и в случае ранее рассмотренных загрязнений, происходят физиологические изменения в функционировании организма, биохимические нарушения, что в итоге приводит к патологическим последствиям. Тяжелые металлы, как и другие загрязнители, поражают иммунную систему гидробионтов, вызывают генетическую патологию, поскольку обладают мутагенным эффектом, провоцируют раковые заболевания. Тяжелые металлы могут влиять на органы восприятия у морских животных, подавляя их, что приводит их к гибели.

Таким образом, загрязнение Мирового океана органическими веществами, углеводородами, тяжелыми металлами в конечном итоге ведет к деградации морских экосистем, их упрощению с выпадением из экосистем наиболее важных для человека ее звеньев, таких, как рыбы и моллюски.

9.4. Международное сотрудничество в области охраны морской среды

Международное сообщество, обеспокоенное состоянием морских экосистем, сделало ряд шагов в попытке снизить влияние на них антропогенного пресса. В 1975 г. в Лондоне была принята Конвенция по предотвращению загрязнения морей сбросами отходов и

других материалов. Однако эта Конвенция скорее была просто декларацией, чем обязывающим документом.

Одним из наиболее важных международных актов следует считать принятие Конвенции по морскому праву, согласно которой были созданы 200-мильные исключительные экономические зоны (1982). Этим документом 35 % поверхности Мирового океана были поставлены под национальный контроль в отношении сохранения и использования природных ресурсов. Это было сделано в предположении, что получившие под свой исключительный экономический контроль практически все шельфы мира государства будут стараться сохранить их ресурсы и прежде всего морские прибрежные экосистемы от их деградации и разрушения. При этом ожидались следующие шаги правительств прибрежных государств:

–сокращение чрезмерной эксплуатации морских ресурсов в прибрежных и шельфовых водах;

–ликвидация последствий загрязнения морской среды коммунальными и промышленными стоками;

–создание кадастров прибрежных и морских ресурсов;

–усиление исследований и мониторинга территорий океанов, находящихся в их исключительной юрисдикции.

В последние десятилетия усилилось международное сотрудничество в охране внутренних региональных морей. Так, в области уменьшения антропогенного пресса на воды Средиземного моря сотрудничают 20 государств, Балтийского – 9 стран, Северного – 8 стран. Всего сотрудничество осуществляется по 11 морям, в котором задействовано 130 государств. Наиболее успешно сотрудничество развивается по Северному и Балтийскому морям.

Глава 10. ПРОБЛЕМА БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Во всем мире происходит рост бытовых и промышленных отходов. Особенно в последние годы увеличился рост бытовых отходов. Это связано с ростом потребления, особенно в городах. Рост отходов, большая часть которых складируется в свалках (бытовые), хвостохранилищах, терриконах и т. д. (промышленные), уже сейчас породили угрозу здоровью человека и окружающей среде. Воздух, вода и почва загрязняются на колоссальных площадях.

Только Европа дает более 15 млрд. т бытовых отходов, из которых 9,3 млрд. т – твердые чисто бытовые отходы, 3,3 млрд. т – отходы коммерческого сектора и около 1 млрд. т – отходы автомобилей.

Развитие техники привело к тому, что не только многие промышленные, но и часть бытовых отходов стала относиться к опасным отходам: резина, пластики, электрические батарейки, некоторые узлы электронной и электробытовой техники.

Сбор, вывоз и захоронение отходов стали очень дорогим делом. В США стоимость полигонного захоронения одной тонны отходов превышает 125 долларов. Попытки ввести налогообложение отходов не принесли успеха, а только породили горы мусора на улицах, задворках, появлению свалок вдоль дорог.

10.1. Рециклинг, сжигание и депонирование неопасных отходов

В настоящее время в ряде стран (Франция, Германия, Япония и др.) запрещено захоронение отходов, которые можно подвергнуть рециклингу или сжечь с утилизацией энергии. Рециклинг является важнейшим моментом в решении вопроса с отходами. Существует Международное бюро рециклинга (МБР). На середину 90-х годов индустрия рециклинга насчитывала более 1 млн. занятых рабочих в 53 странах мира с оборотом 500 млрд. долларов. МБР занимает жесткую позицию, считая, что рециклируемые материалы не могут считаться отходами.

Абсолютным лидером в области рециклинга является Япония. В этой стране рециклингу подвергаются все металлические отходы, более 90 % бумажных отходов, более 75 % доменного шлака, более

70% отходов органики и тряпья, более 50 % отходов древесины, стекла и отработанных масел, 40 % отходов строительства, более 35 % пластмасс и резины. Кроме того, японцы за последнее десятилетие XX столетия снизили промышленные отходы на 40 %. В среднем они подвергают рециклингу несколько более 70 %отходов, а остальные сжигают. Японцы не скрывают, что они ставят задачу стать абсолютным лидером по рециклингу в мире.

Меньше других от Японии отстает Германия, у которой многие показатели близки к японским, и Франция. В США показатели заметно хуже. Из общего количества отходов рециклингу подвергается только 35 % отходов, около 50 % захораниваются и около 15 % сжигаются.

Лидирующими странами по сжиганию отходов являются Япония и Франция. Одно время во Франции развернулось движение против мусоросжигающих заводов (МСЗ). Считается, что диоксины, выделяющиеся при сжигании мусора, опасны для людей, особенно кормящих матерей и младенцев. Но австрийские ученые показали, что курение в 230 тысяч раз опаснее, нежели проживание рядом с МСЗ. Такова степень очистки на МСЗ в Австрии. В качестве примера можно привести и мусоросжигающий завод, расположенный в черте Лондона. В Люксембурге, одной из наиболее благополучных во всех отношениях страны в Европе, сжигается 75 % отходов.

Сейчас создаются целые комплексы по использованию тепла МСЗ и переработке отходов. Так, например, во Франции вступил в 1996 г. в действие комплекс, сжигающий 105 тыс. т отходов в год. На этом комплексе одновременно работает 7 линий по рециклингу различных отходов: медицинских, бумаги, стекла, пластмасс, черных металлов, органических отходов, переработке жиров и масел, поступающих с предприятий пищевой промышленности. Естественно, этот комплекс сам себя обеспечивает энергией.

Что касается депонирования отходов, то сейчас во всех развитых странах и ряде развивающихся (но не в России) основное направление в депонировании отходов – это захоронение только тех отходов, которые нельзя подвергнуть рециклингу и которые нельзя сжечь, т.е. в основном это опасные отходы.

В России пока что основной метод борьбы с неопасными отходами – это организация свалок, поскольку строительство полигонов

достаточно сложное дело, требующее достаточно больших затрат. Применяется также компостирование пищевых отходов в открытых штабелях. Мусоросжигающих заводов в России очень мало, газовая очистка отсутствует, а рециклинг развит слабо.

10.2. Опасные отходы и методы их депонирования и уничтожения

К опасным относятся твердые и комбинированные с твердыми веществами отходы, которые из-за их количества, концентрации, физических, химических или инфекционных характеристик обусловливают значительную постоянную или потенциальную опасность для здоровья человека и окружающей среды при неправильной переработке, хранении, транспортировке или размещении, т.е. неправильном управлении ими.

В настоящее время насчитывается около 55 тысяч соединений, отнесенных к категории опасных. Соответственно любые отходы, содержащие эти соединения, относятся к категории опасных. Опасные отходы во всех странах должны захораниваться на специальных полигонах с предварительной обработкой или обезвреживаться с помощью сжигания при высоких температурах, при которых происходит процесс разложения токсических соединений.

Необходимость переработки или захоронения опасных отходов (ОО) в местах, удаленных от их производства, создает серьезную проблему транспортировки отходов, связанную с потенциальной угрозой для человека и окружающей среды. Эта проблема имеет как внутренний, так и международный характер из-за импорта и экспорта опасных отходов.

Транспортировка ОО в пределах любой страны регулируется внутренним законодательством, а на международном уровне – рекомендациями ООН или региональных организаций государств.

Для транспортировки опасных химических грузов (отходов) используются все виды транспорта, но чаще других – перевозки по железным дорогам и автострадам (В США отдается предпочтение железным дорогам, в Европе – автострадам). Транспортировка опасных грузов по дорогам Европы регулируется Европейским соглашением по международному транспорту опасных грузов на дорогах.

Практические правила предусматривают контроль по следующим позициям:

– отметки опасности на упаковках и средствах транспорта;
– инструктаж операторов и водителей;
– очистка средств перевозки в интервале между пробегами;
– маршруты дорог должны тщательно планироваться;
– водитель должен иметь декларацию об отходах, руководство о действиях в случае непредвиденного инцидента, средства связи, спецодежду и т.д.

Все компании, предприятия, перевозящие такие грузы, подлежат специальной регистрации.

Одним из требований при работе с опасными отходами является необходимость при возможности обработки отходов перед их депонированием с целью снижения уровня их опасности.

Такая обработка может включать в себя любой или все следующие процессы:

1) детоксикация отходов (например, с помощью термических, физических, биологических процессов);
2) сепарация и концентрация опасных составляющих в меньшем объеме;
3) стабилизация, затвердевание и герметизация отходов.

Депонирование опасных отходов осуществляется на специальных полигонах, которые планируются, конструируются и выполняются в соответствии с законами каждой страны и должны обеспечивать долговременную защиту окружающей среды от опасного воздействия токсикантов. Существует много требований к месту создания такого полигона. Учитываются климатические характеристики (господствующие ветра, количество осадков, колебания температуры, эрозия почв), топография места, грунты, близость рек, подземные воды и т.д.

Сам полигон – это сложное техническое сооружение, позволяющее обеспечить сохранность депонируемых материалов и постоянный контроль над характеристиками окружающей среды. Такие полигоны строго охраняются.

Несмотря на все предусмотренные предосторожности, размещение опасных отходов в земле представляет потенциальную угрозу окружающей среде. Поэтому разработаны альтернативные методы, к которым прежде всего относятся термические методы: огневой метод, пиролиз, жидкофазное окисление, плазменный метод.

Первый из этих методов позволяет сжигать опасные отходы в специальных инсинераторах. Для сжигания используется смесь кислорода с каким-либо газообразным топливом. Наиболее целесообразно применение этого метода для сжигания органических отходов, углеводородов, диоксиносодержащих отходов и ряда других.

Пиролиз – это процесс разложения органических соединений под действием высоких температур при отсутствии или недостатке кислорода. Пиролизу чаще всего подвергают пастообразные отходы, пластмассы, загрязненную мазутом землю, соли, металлы и др.

Жидкофазное окисление – это окисление кислородом воздуха элементоорганических соединений при 150–350° С и давлении 2–28 МПа. Метод нашел ограниченное применение.

Плазменный метод применяется сравнительно недавно. Он альтернативен сжиганию, которое все-таки загрязняет окружающую среду продуктами сгорания. Он предпочтителен при переработке особо токсичных отходов.

Интенсивность плазмохимических процессов выше, чем термических. При взаимодействии с плазменной струей рабочего газа скорость деструкции подаваемых веществ газа резко увеличивается. Плазменно-химические реакторы имеют более высокую производительность по сравнению с термическими, и позволяют перерабатывать любые (газообразные, жидкие и твердые) отходы. При этом степень разложения опасных загрязнителей очень высока (до 99,9998 %).

Для создания плазменной струи используются электродуговые и высокочастотные генераторы – плазмотроны, позволяющие получать температуру плазмы от 2500 до 20 000° К. В этих условиях молекулы химических веществ расщепляются на атомы, которые при снижении температуры образуют простые соединения (CO_2, H_2O, HCl и др.).

Этот метод нашел применение для уничтожения полихлорированных бифенилов, пестицидов, диоксинов, медицинских отходов и др.

Наряду с термическими способами обезвреживания опасных отходов в последние годы в развитых странах получают распространение биотехнологические способы. Биоразложение – одна из наиболее быстро развивающихся отраслей индустрии переработки отходов, в том числе опасных. Экологически это наиболее приемлемые методы, а экономически – наиболее эффективные. В основ-

ном для этой цели применяются анаэробные методы разложения. Весь процесс идет в специальных реакторах. В сложном процессе превращения участвуют многие виды микроорганизмов, среди которых преобладают бактерии.

Промышленные технологии анаэробного биоразложения разработаны в США, Франции, Германии, Бельгии, Нидерландах, Канаде, Швеции.

В заключение заметим, что во многих развитых странах в настоящее время проводятся работы по очистке тех участков земли, куда сваливались в свое время опасные отходы, без всяких требований, о которых говорилось выше. Например, в Германии определено 139 000 таких участков, в Нидерландах – 110 000. Во Франции определено 700 загрязненных участков, в США – 1 300 площадок. В США на программу очистки таких участков планируется истратить 100 млрд. долларов. Но по оценкам специалистов в США около 75 000 неконтролируемых свалок опасных отходов и, чтобы очистить их, потребуется 1 триллион долларов. В России, по всей видимости, таких участков не меньше.

Глава 11. ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА ПРИРОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

Природные ресурсы – это запасы сырья и энергии, пищи, воды и воздуха, извлекаемые из окружающей среды для обеспечения жизни человека. Мы научились использовать громадное количество природных ресурсов, от которых теперь полностью зависим. Сохранение цивилизованной жизни на Земле зависит ныне от постоянного снабжения природными ресурсами: чистым воздухом и чистой водой, для того чтобы дышать и пить, а также для многих других целей в жизни человека, пищей, минеральными удобрениями для увеличения урожаев, топливом для получения тепловой и электрической энергии, металлами для машиностроения, строительными материалами, чтобы строить жилье и дороги и множеством других материалов.

Достаточно ли их осталось в окружающей нас среде, чтобы поддерживать продолжительную, здоровую и комфортную жизнь человеческого общества? Может быть, человеческая цивилизация зачахнет не от деградации биосферы, а от отсутствия самых важных для нас природных ресурсов?

Природные ресурсы подразделяются на две категории. Ресурсы, обязанные своим происхождением теплу и свету, называются возобновляемыми (энергия солнца, вода, энергия ветра, рек, приливов, морских течений, продукты животного и растительного происхождения – хлопок, лен, древесина и др.). Любой из этих видов ресурсов является возобновляемым, потому что постоянно пополняется за счет солнечной энергии, поступающей на Землю непрерывно. Минеральные ресурсы (уголь, нефть, газ, медь, железо и другие металлы, минеральные удобрения и др.) формируются настолько медленно, а многие из них в настоящее время просто уже не формируются. Поэтому они являются практически невозобновляемыми. Это ресурсы, запасы которых четко фиксированы и они не беспредельны. Впрочем, некоторые из возобновляемых ресурсов также могут оказаться невозобновляемыми, если мы подорвем базу их воспроизводства (например, рыбные запасы). Рассмотрим вначале, как обстоит дело с минеральными ресурсами.

11.1. Минеральные ресурсы

Мы знаем, что население Земли росло по экспоненте. Точно так же возрастало потребление многих минеральных ресурсов. Может ли такой рост продолжаться непрерывно? Рассмотрим в связи с этим абсурдную крайность. В прошлом столетии ежегодная добыча минеральных ресурсов удваивалась приблизительно каждые десять лет. Предположим, что эти темпы сохранятся до начала XXIII столетия. Тогда человечество в XXIII в. должно будет добывать 250 000 000 млрд. т ресурсов. Это абсурд, ибо эта величина по массе равна всей суше Земли, находящейся выше уровня моря.

Поэтому, хотим мы или не хотим, но экспоненциальный рост добычи (а следовательно, и потребления) минеральных ресурсов должен прекратиться. И действительно, уже сейчас для многих видов ресурсов, особенно в развитых странах, наметилась тенденция выполаживания кривых роста. Однако в целом мировое потребление природных ресурсов все еще быстро растет.

Рассмотрим, каковы же потенциальные запасы основных минеральных ресурсов на нашей планете.

11.1.1. Горючие ископаемые

Горючие ископаемые – это основа современной электро- и теплоэнергетики. Лишь небольшая доля энергии поступает из возобновляемых источников (около 8 %). Около 85 % энергии мы получаем, сжигая нефть, уголь и газ. Очень интересно посмотреть, как изменилось соотношение использования различного вида топлива и других источников получения энергии с 1970 по 2002 г. (табл. 11.1). Мы видим, что последние за 32 года доли получения энергии за счет сжигания нефти и угля сократились на 8,23 % и 5,5 % соответственно. В то же время получение энергии за счет сжигания газа выросло на 6,07 %.

Таблица 11.1.

Структура мирового производства топливно-энергетических ресурсов

Источник	1970 г., %	2002 г., %
Уголь	29,23	23,72
Нефть	46,75	38,52
Газ	17,22	23,29
Атомная энергия	0,42	6,56
Гидравлическая энергия	5,64	6,62
НВИЭ*	0,74	1,29

* Нетрадиционные возобновляемые источники энергии.

На столько же (6,14 %) выросла доля энергии, получаемой на атомных электростанциях. Доля гидроэнергетики выросла на 1 %, а доля получаемой энергии из нетрадиционных возобновляемых источников выросла лишь на 0,55 %.

Следует отметить, что при транспортировке, хранении и превращении одного вида энергии в другой имеют место большие потери. По оценкам специалистов США, они чуть меньше половины вырабатываемой энергии. Здесь скрыты потенциальные возможности получения дополнительной энергии без увеличения ее выработки.

Как же обстоят дела с запасами угля, нефти и газа, поскольку пока что более 85 % энергии мы получаем именно благодаря использованию этой «большой троицы».

Уголь. Самые древнейшие месторождения угля известны в Канадской Арктике, их возраст 350 млн. лет. Важнейший период образования угля в истории Земли приходится на интервал 350 – 250 млн. лет. Угленосные месторождения обнаружены на всех континентах, но самые большие толщи – в Азии, Европе и Северной Америке. В великий период образования эти континенты располагались в экваториальных и умеренных широтах, где теплый климат и обилие осадков благоприятствовали развитию болот, заросших лесом. Континенты Южного полушария были в основном в этот период в высоких широтах.

Полагают, что большая часть угольных бассейнов уже открыта. Но оценки запасов угля заметно разнятся и оцениваются от 7000 до почти 14 000 млрд. т. При этом 43 % угля мира сосредоточено в месторождениях на территории бывшего СССР.

Добыча угля в 2002 г. составляла около 4,8 млрд. т и после 1990 г. практически не росла. Если принять доступные запасы угля в 10 000 млрд. т и допустить, что добыча угля будет сохраняться на современном уровне, то запасов угля хватит человечеству на 2000 лет.

Заметим, что в энергетике отдельных стран уголь играет определяющую роль в настоящее время. Так, в Польше 96 % энергии получается на основе использования угля, в ЮАР – 90 %, Австралии – 86 %, Китае – 81 %, Индии – 75 %.

Нефть и природный газ. Нефть и газ образовались из осаждений органики, претерпевшей серию химических изменений при соответствующем повышении температуры. Возраст осадочных масс, в ко-

торых находят нефть, варьирует от 570 млн. лет до 2,5 млрд. лет. Но сейчас предполагают, что и более древние осадки могут содержать газовые поля.

Нефть и газ, так же как и уголь, географически распространены широко, но неравномерно. Причины такого распределения не столь очевидны, как в случае с углем. Типы богатых органикой осадков, которые могут быть источником нефти и газа, развиты очень широко, но для того чтобы достаточное количество твердого органического материала превратилась в нефть и газ, осадки должны испытать воздействие умеренно высоких температур, причем преобразование должно произойти, пока осадки еще проницаемы и могут служить проводниками для миграции нефти и газа. Кроме этого, большинство нефтяных и газовых полей фиксируется в ловушках, подготовленных складчатостью вмещающих горных пород. Ловушки должны быть сформированы до того, как начнется миграция и утечка большей части нефти и газа, а это, по-видимому, дело до некоторой степени случайное. По оценкам геологов, шансы совпадения периодов образования нефти и газа с формированием больших ловушек столь малы, что не более 0,1 % органического материала, отложенного в материнских породах, окончательно улавливается нефтяными месторождениями.

Нефть начала добываться в промышленных целях только в 1857 г. в Румынии. Мировое потребление нефти и газа постоянно возрастало. Краткий спад последовал за нефтяным кризисом 1973 г. Однако, после 1975 г. рост потребления нефти возобновился. В 1960 г. добывалось 1,12 млрд. т нефти, а в 2002 г. добыча нефти составляла 3,3 млрд. т, т.е. за 40 лет утроилась.

По мировым оценкам потенциальные ресурсы нефти оцениваются около 200 млрд. т. Отсюда, при современном уровне потребления запасы нефти могут быть исчерпаны уже во второй половине нашего столетия. По газу ситуация подобная, но, с учетом его меньшего потребления, запасов его скорее всего хватит до конца столетия. Все будет зависеть от роста уровня потребления.

По запасам нефти наиболее богат Средний Восток (≈33 %), на втором месте бывший СССР (≈24 %), далее следуют Северная Америка и Африка (по 13 %). По газу богаче всего Россия.

Существуют ли пути продления сроков получения нефти и газа из недр Земли? Такие возможности существуют.

Во-первых, в скважине, из которой выкачивается нефть, около половины нефти остается в пустотах, трещинах, в поровом пространстве в виде пленок. За геологически длительное время нефть могла бы стечь в скважину. Эта остающаяся нефть – потенциальный ресурс при условии обновления добычи.

Во-вторых, существует особо тяжелая нефть, называемая битумом или гудроном. Она не способна течь, и остается на месте в виде материала, цементирующего зерна пористых песчаников. Извлекать такую нефть сложно. Породу следует прогревать струей газа или пара. Однако многие гудроны столь вязки, что могут извлекаться только шахтным методом. Но, в принципе, такие битуминозные пески в будущем могут служить источником получения нефти. Самые крупные месторождения таких песков в Канаде в провинции Альберта, в Венесуэле (Оринокское) и России (Оленекское).

По мнению специалистов, если коэффициент извлечения нефти из таких песков составит 50 %, то их потенциал сравним с запасом сырой нефти.

Природный газ также можно добывать из нетрадиционных источников. Он присутствует во многих разновидностях осадочных пород, отличающихся большой плотностью и низкой проницаемостью. Извлечение газа из таких пород – процесс сложный, дорогостоящий, но возможный. Кроме того, большие потенциальные запасы газа находятся в водоносных горизонтах с избыточным давлением в рассолах.

Оценка такого рода запасов газа свидетельствует, что они в четыре раза превосходят доступные в настоящее время запасы.

Наконец, запасы сланцев – это потенциальный источник нефти. Однако для экстрагирования нефти из одной тонны сланцев необходимо потратить энергию 40 л нефти. Поэтому при нынешних технологиях сланцы могут рассматриваться в качестве энергетического ресурса, если они при переработке дают больше 40 л нефти. Богатейшие месторождения сланцев в Эстонии – они дают 320 л нефти на одну тонну сырья. Большие запасы сланцев в США, России, Китае, Австралии, Бразилии. Ресурсы сланцев оценены пока плохо, но

даже по приблизительным оценкам они очень велики и могут обеспечить человечество энергией не на одну тысячу лет.

11.1.2. Нетрадиционные виды энергии, способные заменить горючие ископаемые

Атомная энергетика. Атомная энергетика развивалась до 90-х годов прошлого столетия достаточно высокими темпами. Если в 1970 г. в общей структуре получения энергии ее доля составляла только 0,42 %, то в 2000 г. – 6,44 %; а в электроэнергетике уже в 1980 г. она составляла 9,23 %, а в 1990–18,06 %. Но после 1995 г. рост ее прекратился, и в 2002 г. в электроэнергетике она составляла 17,92 %, а в общем энергетическом балансе – 6,56 %.

Запасы ядерного сырья (урана, тория) велики и могут обеспечить энергетику нашей планеты не на одну сотню тысяч лет. Это экологически достаточно чистый вид получения энергии. Главное здесь – это обеспечение безопасности и проблема удаления опасных отходов ядерных реакций. Обе эти проблемы успешно решаются, и использование ядерного распада для получения энергии, вероятно, будет иметь большое будущее. Предпосылки нового развития атомной энергетики достаточно очевидно наметились уже в начале нашего столетия.

Энергия синтеза дейтерия. Исследования по использованию энергии синтеза дейтерия ведутся в ряде стран мира. Результаты исследований обнадеживают, и можно ожидать, что в обозримом будущем эта задача будет решена. С освоением термоядерной энергии проблема топливной энергии будет решена.

Солнечная энергия. Высокая стоимость солнечных установок, необходимость больших площадей и высокий процент облачных дней в умеренных и высоких широтах не позволяет большинству стран использовать солнечную энергию в энергетике. Тем не менее за десятилетие – с 1993 по 2003 г. – производительность солнечных батарей выросла в 10 раз (с 60 до 610 МВт). Странами-лидерами в использовании солнечной энергии являются Япония (170 МВт), США (100 МВт), Германия (60 МВт). Россия выглядит на этом фоне довольно бледно (0,5 МВт). Тем не менее, работы по повышению эффективности использования солнечной радиации в энергетике активно ведутся, в том числе и в нашей стране, и можно ожидать, что ее роль в общем энергетическом балансе мира будет возрастать. Возможность же использования ее запасов без ущерба для окружающей среды огромная.

Ветроэнергетика. В последние годы ветровая энергетика испытывает стабильный рост. С 1993 по 2003 г. производительность ветровых установок возросла в 13 раз с 2 990 до 39 294 МВт. Страны-лидеры в развитии мировой ветроэнергетики: Германия (14 609 МВт), США (6 374 МВт), Испания (6 202 МВт). На этом фоне Россия (4 МВт) выглядит также очень бледно, несмотря на большие и благоприятные возможности в использовании энергии ветра. Ветровая энергетика непрерывно совершенствуется, растет мощность установок и в Германии: например, не только фермерские хозяйства, но и небольшие населенные пункты обеспечиваются электроэнергией за счет ветровых энергоустановок.

Мировые ветроэнергетические ресурсы чрезвычайно велики. Технически доступный потенциал ветровой энергии, по оценкам экспертов, составляет 53 трлн. кВт·ч в год, что примерно в 4 раза превышает мировое потребление энергии в настоящее время. По прогнозам, доля ветра в общемировом энергетическом балансе составит в 2020 г. 10 %, а в 2040 г. – 20 %. На сегодняшний день ветроэнергетика является самым экономически эффективным из всех направлений энергетики, базирующихся на нетрадиционных возобновляемых источниках энергии.

Геотермальная энергетика. Использование геотермальных установок в энергетике также растет, но значительно медленнее. В настоящее время общая их мощность составляет около 8000 МВт. Странами-лидерами в использовании геотермальной энергии являются: США (2228 МВт), Филиппины (1909 МВТ), Италия (785 МВт), Мексика (755 МВт). Россия практически не использует геотермальную энергетику (23 Мт) для своих нужд, хотя возможности для ее использования, особенно на Камчатке, достаточно велики.

Однако в целом роль геотермальной энергетики в мире не может быть высокой вследствие рассеянности потока энергии из недр Земли. Эффективность извлечения тепловой энергии даже в центрах вулканизма невелика, и поэтому геотермальная энергия может иметь только местное значение на Земле.

Гидроэнергетика. По оценкам весь потенциал гидроэнергии в мире составляет 8100 млрд кВт·ч. В 2002 г. мощность всех гидроэлектростанций мира составляла 713 000 МВт, и вырабатываемая энергия – 2627 млрд. кВт·ч. Таким образом, в настоящее время в

мире используется только 32 % от общего возможного потенциала энергии текучих вод. Роста использования гидроэнергетики в общем энергетическом балансе практически нет. По оценкам некоторых специалистов, мы близки к возможному пределу использования энергетических ресурсов текучих вод. Возможное некоторое развитие в этой области связано с малыми и микро-ГЭС. Сейчас они используют только 10 % от общего потенциала, а в России экономический потенциал малых и микро-ГЭС использован лишь на 0,5 %. Число малых ГЭС в России сократилось с 5000 в 50-х годах прошлого столетия до 300 в 90-х годах. Мировым лидером в малой гидроэнергетике является Китай, где за последние 50 лет прошлого столетия мощность малых ГЭС возросла более чем в 3000 раз. В ближайшее десятилетие Китай планирует строительство 40 000 малых ГЭС.

Энергия приливов. Строительство приливных электростанций целесообразно экономически только там, где высоты приливов превышают 5 м. Таких мест на Земле немного, всего 30. Даже если каждое из этих мест будет освоено, то общая мощность таких приливных электростанций составила бы менее 1/300 современной мощности, расходуемой человечеством. Поэтому энергия приливов может иметь только местное значение в получении энергии.

Энергия океана. В 1981 г. французский инженер Ж.Клод выдвинул идею, а еще через 10 лет французский физик д'Арсонваль обосновал возможность применения существующего в океана градиента температуры воды между поверхностным и придонным слоями для получения электроэнергии.

Принцип действия термоградиентной установки состоит в следующем: поверхностная теплая вода океана используется для испарения жидкости, имеющей невысокую температуру испарения (пропан, аммиак, пробутан и др.). Полученный таким образом пар вращает турбины, а затем охлаждается уже холодной глубиной водой океана до жидкости и снова подается в испарительную установку (*рис.* 11.1). Хотя конструктивно термоградиентная электростанция (ТГЭС) проста, но ее техническое воплощение – достаточно сложное дело, и строительство ее очень дорого. Тем не менее первая ТГЭС была построена еще в 1927 г. в бухте Матансас у берегов Кубы. Вторая ТГЭС была построена французами в 50-х годах прошлого столетия у берегов Африки. Это была небольшая станция, и проработала она короткое время. Но на основе этого эксперимента были разработаны схемы ТГЭС большой мощности. В начале 80-х го-

дов экспериментальные установки были созданы японскими компаниями на о. Науру и о. Амани в Японском море.

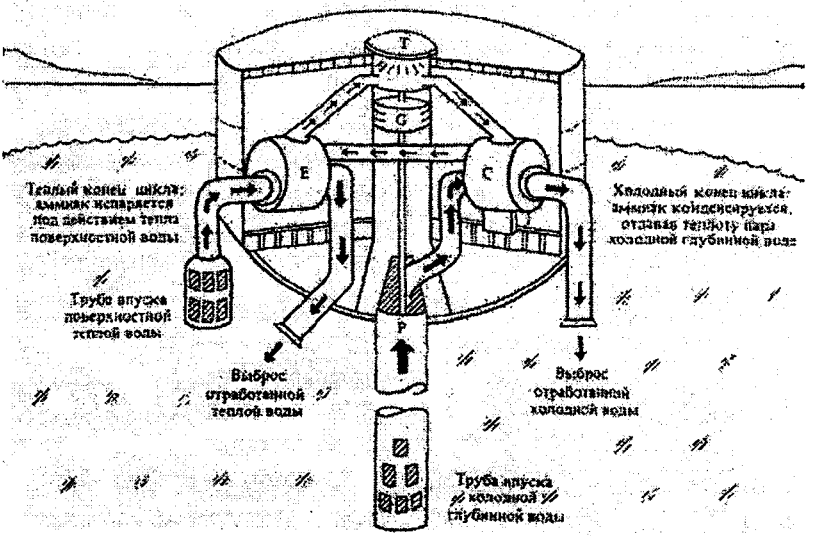


Рис. 11.1. Одна из возможных конструкций установки по преобразованию тепловой энергии океана в электрическую (по С. Нешибе, 1991).

Как показали расчеты, наиболее эффективны термоградиентные установки, работающие при перепаде температур 23–25°С. Но можно создавать и станции, работающие и при перепаде температур 18–23°С. ТГЭС выгодно располагать на островах или побережье тропической зоны, не имеющей материковой отмели. В настоящее время проекты таких электростанций имеются во Франции, Японии, США, Бразилии, Индонезии. Однако пока существуют обычные, более дешевые (в 56 раз) источники энергии, строительство таких электростанций откладывается на будущее. Но потенциал этого источника энергии очень велик. Даже если эффективность его использования будет менее 1 %, то и в этом случае потенциал термальной энергии океана превышает потенциал всех горючих ископаемых.

Энергия волн океана. Первые попытки использования волновой энергии океана относятся к 20-м годам прошлого столетия. В 1921 г. в Алжире прошло испытание устройства, основанного на использовании вертикальных перемещений воды. В 1929 г. на берегу Средиземного моря была создана установка, которая приводилась в действие энергией волн. С конца 1985 г. в Норвегии начала действовать первая промышленная волновая электростанция мощностью 850 кВт.

Волновая энергия размещена в Мировом океане неравномерно. Эффективное ее использование возможно лишь в относительно немногих районах Мирового океана. По самым оптимистичным оценкам, реальный вклад волновых энергетических установок вряд ли может составить более 2–4 % от современного потребления энергии. В ряде стран уже имеются проекты строительства таких электростанций. Однако пока существующие проекты волновых электростанций дороги (примерно в 10 раз дороже строительства тепловых и атомных электростанций), и поэтому строительство таких электростанций будет целесообразно лишь в отдельных районах.

Энергия морских течений. Одним из направлений развития энергетики будущего может стать строительство электростанций, использующих энергию морских течений. По оценкам, только механическая энергия (без учета переносимого тепла) почти в 30 раз превышает мощность энергии, потребляемой человеком в настоящее время. Только один Гольфстрим в наиболее мощной своей части мог бы обеспечивать человечество энергией, если бы ее удалось использовать. Если установить в струе Гольфстрима турбины на протяжении 350 миль, удалось бы получить 10 % всей ныне потребляемой энергии. Сколь бы ни сомнительным выглядел такой проект, его инженерные проработки проведены. Существует проект использования энергетического потенциала Флоридского течения, предусматривающий сооружение 200 турбин на глубине 120 м. Опытная модель турбины успешно работает в водах Мексиканского залива на глубине 15 м. Однако использование энергии течений – дело будущего. Необходимо повысить КПД существующих преобразований этого вида энергии и решить целый ряд технических проблем.

В заключение можно подчеркнуть, что было бы неверно относиться ко всем рассмотренным выше видам энергии скептически.

Технологии будущего могут существенно изменить всю картину использования разных видов энергии.

На Земле не будет энергетического кризиса, дефицит энергии нам не грозит. Существуют громадные потенциальные ресурсы получения энергии. Возникающие сейчас "кризисы" нехватки топлива связаны с тем, что мы привыкли полагаться только на достаточно распространенные, доступные и "дешевые" горючие ископаемые.

Наиболее перспективные в ближайшее время альтернативные источники энергии – это атомная энергетика, ветровая и солнечная. Позднее, возможно, придет время использования тепловой энергии океана и энергии океанических течений.

11.1.3. Металлы

Металлы являются необходимым компонентом в технике, и без них не могло бы развиваться наше общество дальше.

По распространенности в континентальной коре металлы делятся на два класса: редкие металлы, с распространенностью ниже 0,1 %, и распространенные, с распространенностью выше 0,1 %. Распространенных металлов немного – это алюминий, железо, титан, магний и марганец. Все остальные используемые человеком металлы (цинк, свинец, медь, уран, вольфрам, серебро, золото и многие другие) – это редкие металлы.

Рассмотрим вначале, как обстоит дело с запасами наиболее используемых распространенных металлов.

Железо. Железо – второй по распространенности в земной коре металл – является важнейшим из металлов, поддерживающих современную цивилизацию. Доля его потребления среди других металлов составляет 95 %. Выплавка железа из окисных руд (магнетит Fe_3O_4, гематит Fe_2O_3, сидерит $FeCO_3$, гетит $HFeO_2$) – довольно простой химический процесс, называемый восстановлением.

Запасов железной руды столь много, что даже если мировое потребление железа удвоится, что маловероятно, то пройдет много столетий, прежде чем могут возникнуть какие-то проблемы.

Алюминий. Он распространен в земной коре еще более широко, чем железо, и благодаря своей легкости имеет лучшее отношение массы к прочности, что делает его более предпочтительным, нежели железо. Основные руды, содержащие гидроксиды алюми-

ния, называются бокситами. Интересно, что несмотря на то, что алюминий один из трех самых распространенных в земной коре элементов, его гидроксиды – довольно редкие минералы. Поэтому по сравнению с железорудными месторождениями запасы алюминия в месторождениях бокситов сравнительно малы. Но тем не менее по современным оценкам в ближайшие 200 лет человечество не будет испытывать каких-либо затруднений с получением алюминия. Кроме того, существуют руды с меньшим содержанием алюминия, которые способны значительно увеличить потенциальные ресурсы алюминиевого сырья.

Марганец. Марганец является исключительно важной добавкой в сталях, снижающей отрицательное действие малых количеств серы и кислорода. Открытых запасов марганцевых минералов достаточно много. Самые крупные находятся в Грузии (Чиатура) и Украине (Никополь). С учетом уровня потребления с марганцем не будет никаких проблем в ближайшее тысячелетие даже с теми запасами, которые открыты. Но можно ожидать открытия новых месторождений в тропических районах, а также не стоит забывать об океаническом дне, где сосредоточены громадные запасы марганца. Японцы и американцы в опытном порядке уже ведут разработки морских конкреций (смесь оксидов и гидроксидов марганца и железа).

Титан. Малый удельный вес титана сочетается с высокой прочностью и коррозийной стойкостью. Поэтому он применяется в сверхзвуковой авиации и для строительства подводных лодок. Он с трудом обрабатывается и выплавляется из руд. Основные титановые минералы: ильменит – $FeTiO_3$ и рутил TiO_2. Оба минерала широко распространены. Запасы их велики и их хватит до очень далекого будущего.

Магний. Магний – наиболее мягкий и стабильный из распространенных металлов. Он прочен и необходим при производстве легких сплавов с высокой коррозийной стойкостью. Магния много в океане. В земной коре минералы доломит $CaMg(CO_3)_2$ и магнезит $MgCO_3$ распространены широко. Запасы магния практически неограниченны и доступны.

В целом с использованием распространенных металлов каких-то особых сложностей не предвидится. Возможны временные трудности, связанные с освоением новых типов руд.

Редкие металлы. Такие обычные металлы, как медь, цинк, свинец, никель, производство которых непрерывно растет, являются геохимически редкими и находятся в одном ряду с золотом, серебром, платиной. Большинство экспертов полагают, что именно с металлами этой группы у человечества могут возникнуть трудности. Недостаток некоторых ощущается уже сейчас.

Редкие металлы представляют собой группу жизненно важных элементов, которые в прошлом столетии ускорили развитие таких технических "чудес", как получение и передача электроэнергии, телеграф, радио, телевидение, ракетостроение, ядерная энергетика и т.д. Возможность истощения редких металлов угрожает не только современным технологическим направлениям, но и будущим.

Однако следует заметить, что хотя распространенность редких металлов в земной коре мала, но их общее количество все же довольно значительно, поскольку сама кора велика по размерам. Но в обозримом будущем в качестве источников редких металлов можно рассматривать только их рудные месторождения.

Медь. Медные месторождения имеют широкое распространение, однако в большинстве случаев они невелики по запасам меди (до 1 млн. т). Для современных горнодобывающих предприятий такие месторождения экономически не выгодны, хотя обычно это месторождения с богатой рудой (более 10 % меди). Сегодня основная добыча сосредоточена на крупных и дешевых в разработке медно-порфировых месторождениях, хотя содержание меди в руде часто менее 2 %. Открыто несколько сотен медно-порфировых месторождений в разных странах. Наиболее крупные производители меди: Чили, США и бывший СССР. Они же и по запасам меди опережают другие страны. По оценкам, при отсутствии большого роста потребления медью человечество обеспечено до конца текущего столетия.

Свинец и цинк. Рудные минералы свинца и цинка (галенит PbS и сфалерит ZnS) имеют в природе тесную ассоциацию. Эти минералы составляют основу мирового производства свинца и цинка.

Обычно месторождения свинца и цинка невелики. Крупных, типа медно-порфировых, не обнаружено. По запасам в открытых месторождениях мы обеспечены свинцом и цинком где-то до середины текущего столетия. Но потенциальные ресурсы, по оценкам

специалистов, где-то равны разведанным. Таким образом, возможно, этих металлов хватит до конца столетия при условии стабилизации потребления. С цинком положение дел, по-видимому, будет легче, чем со свинцом, поскольку установлены потенциальные ресурсы цинка в породах, связанных с соляными куполами. Проблемы к концу столетия, вероятнее всего, возникнут со свинцом.

Никель. Используется никель для получения сплавов, отличающихся высокими жаростойкими и электрическими свойствами, а также в производстве нержавеющей стали. Плавка и обработка никеля очень сложны. Потребление небольшое, но и запасы разведанные невелики. Но с учетом больших потенциальных запасов эксперты полагают, что никель не будет тем элементом, который создаст большие затруднения как в текущем, так и в будущем столетии.

Молибден. Молибден добавляется в стали, придавая им прочность и вязкость (броня). Основной минерал – молибденит MoS_2. Оценить его запасы сложно. По оценкам экспертов, потенциальные запасы молибдена велики, и человечество обеспечено молибденом не на одно столетие в будущем.

Серебро. Дефицит серебра возник из-за непомерных потребностей индустрии, а именно электротехнической промышленности и производства фотоматериалов. Американский континент поставляет на мировой рынок 55 % серебра, остальные 45 % – Австралия и Россия. С 1965 г. цены на серебро неуклонно растут. Рост цен может привести к тому, что экономически нерентабельные руды могут стать прибыльными. Однако вряд ли производство серебра сможет удовлетворить все потребности. Скорее всего, его потребление будет сокращаться, и будут стараться в промышленности найти заменители серебра. Возможно, что трудности с серебром возникнут уже в середине текущего столетия.

Ртуть. Минерал, из которого добывают ртуть – киноварь HgS. Известные запасы ртути невелики. Многие специалисты полагают, что ртуть может стать первым металлом, чьи запасы будут исчерпаны. Полагали даже, что это произойдет к 2000 г. Но эти прогнозы не оправдались.

Платина и золото. Говорить о положении дел с этими металлами трудно. Но с учетом того, что цена на золото постоянно растет, а производство их не увеличивается, больших потенциальных

ресурсов золота и платины нет, особенно золота. И по запасам, и по производству этих металлов на первом месте стоят Россия и ЮАР.

В целом положение дел с редкими металлами более напряженное, чем с распространенными, ибо их потребление не соответствует их нахождению в земной коре. По ряду редких металлов к середине столетия ситуация может осложниться. Наиболее проблемные металлы – это ртуть, серебро и вольфрам. Для них пока не найдены альтернативные источники сырья, а их известные запасы – самые незначительные в сравнении с потреблением. Остается надеяться, что быстрый рост цен снизит уровень их потребления и заставит человечество искать им замену (что, впрочем, уже сейчас в какой-то мере происходит).

11.1.4. Агрохимическое, химическое сырье и строительные материалы

Азот, фосфор, калий, кальций и сера необходимы растениям так же, как вода и углерод. Эти элементы растения извлекают из почвы. Чтобы элементы могли оказывать влияние на рост, они должны находиться в почве в хорошо усваиваемой растениями форме.

Например, в большинстве почв калия содержится более 1 %, но подавляющая его часть недоступна для растений, так как он заключен в нерастворимых силикатах типа полевых шпатов. Поэтому калий вносится в почву в виде сульфата K_2SO_4 или хлорида KCl, потому что эти соединения хорошо растворимы. Действенность азотных и фосфорных удобрений также зависит от их растворимости.

Наиболее важны удобрения – фосфорные, калийные и азотные. Они вносятся в почву в соотношении 1:1,5:3. Спрос на удобрения едва ли будет уменьшаться. Их мировое потребление во второй половине XX столетия удваивалось каждые 10 лет.

Азот. Азот для азотистых компаундов $(NH_4)_2SO_4$ и NH_4NO_3 или нитратов Na NO_3 извлекается из атмосферы. Природные нитраты добывают в небольших количествах на чилийских месторождениях в пустыне Атакама. Проблем с таким сырьем, как азот, нет.

Калий. Калий – широко распространенный элемент, но заключен в нерастворимых силикатных минералах. Однако существует много месторождений калийных удобрений (KCl), которые образо-

вались когда-то на месте мелких высохших морей. С учетом потребления только открытых месторождений калийных удобрений хватит человечеству на 1000 лет. Если уж учесть содержание KCl в морской воде, то этих запасов хватит на многие тысячелетия.

Фосфор. Единственным распространенным минералом фосфора является апатит – $Ca_5(PO_4)_3(OH)$. Но он слабо растворим. Поэтому его обрабатывают серной кислотой и получают суперфосфат, который содержит легко растворимый в воде компаунд $Ca(H_2PO_4)_2$.

Месторождений апатитов как изверженных, так и особенно осадочных много. Запасы фосфора в открытых месторождениях огромны. Потенциальные ресурсы также велики. Так что каких-либо проблем с фосфором не предвидится.

Сера. Хотя непосредственно сера к элементам удобрений не относится, 40 % ее мировой продукции идет на производство удобрений и 20 % для химической промышленности на производство инсектицидов и фунгицидов для борьбы с болезнями растений. Сера – широко распространенный элемент. Огромны ресурсы сульфатов, например, гигантские эвапоритовые месторождения $CaSO_4$. Однако сейчас используют то, что легче освоить. Так, треть мировой продукции серы приходится на самородную серу. Ее источниками являются вулканические газы и бактериальное разложение $CaSO_4$ с восстановлением серы и восстановлением сульфатов до серы.

Запасы такой серы по сравнению с ее потреблением невелики. Поэтому в последнее время используют альтернативные источники:

– серу извлекают из газа H_2S, ранее выпускавшегося в атмосферу;

– сера извлекается как побочный продукт из сульфидов железа – FeS_2 FeS;

– из сульфата кальция производят серную кислоту.

Поскольку ресурсы сульфидных и сульфатных руд огромны, проблем у человечества с серой не возникнет.

Химическое сырье. Наиболее важным членом этой группы является галит NaCl. Огромные ресурсы соли содержатся не только в морской воде, но и в морских эвапоритах. Проблемы ресурсов здесь не существует, существуют проблемы добычи и перевозки.

Строительные материалы. Это неметаллические полезные ископаемые: камень, песок, гравий, цемент, алебастр, глины, стек-

ло, асбест и др. Многие из этих материалов настолько обильны, что нет даже необходимости в количественной оценке их запасов. Некоторые специалисты считают, что к неметаллическим полезным ископаемым следует относиться как к потенциальным заменителям редких металлов и других ограниченных видов сырья.

По-видимому, это возможно, ибо стеклянное волокно уже стало использоваться для передачи телефонных разговоров.

Исследования в области материаловедения и научно-технический прогресс могут сделать неметаллические полезные ископаемые еще одним видом распространенных и пока неиспользуемых ресурсов.

В заключении можно отметить, что использование любого природного ресурса не может быть изолировано от использования всех других ресурсов. Существующие схемы использования минеральных ресурсов Земли настолько сложно взаимосвязаны, что использование каждого природного источника неизбежно влияет на объемы использования многих других ресурсов. Существующие схемы ресурсопотребления развивались под влиянием определенного сочетания успехов в технологии, соответствующих экономических ситуаций и сложившегося общественного мнения. Изменения неизбежны и в будущем в ответ на появление технологических новшеств и соответствующих экономических обстоятельств.

Трудно предвидеть изменения в использовании природных ресурсов (пример – применение стекла вместо меди). Некоторые минеральные ресурсы могут стать очень дорогими, так как их запасы ограничены, другие же могут стать обильными и недорогими, потому что непредвиденное технологическое открытие превратит непромышленно потенциальный ресурс в богатые руды. Пока что, делавшиеся прогнозы об истощении того или иного ресурса, к счастью, не оправдывались. Видмио, группа редких металлов сделает в скором времени еще одну проверку гибкости системы снабжения общества минеральным сырьем. Однако основные проблемы в обществе – это экологические проблемы.

11.2. Пищевые ресурсы человечества

Проблема обеспечения населения Земли продуктами питания – одна из важнейших на Земле. К сожалению, голод и недоедание до сих пор свойственны отдельным регионам планеты. Какова же реальная ситуация с пищевыми ресурсами на Земле?

11.2.1. Пищевые ресурсы континентальной части Земли

С 1950 по 1990 г. глобальные сборы зерна в мире возросли с 631 до 1781 млн. т, т.е. почти в три раза. Это породило некоторую эйфорию в возможностях обеспечения растущего населения Земли продовольствием. Однако в 1996 г. произошло рекордное повышение мировых цен на пшеницу и кукурузу, отображающее отставание производства от потребностей. К 1996 г. мировые запасы зерна упали до рекордно низкого уровня их достаточности на 50 суток.

Все это вызвало глубокую озабоченность в Организации Объединенных Наций. ЮНЕСКО создало комиссию под председательством Л. Брауна. В 1997 г. эта комиссия подготовила отчет, в котором была представлена картина обеспеченности продовольственными ресурсами человечества, далекая от оптимизма.

К середине 90-х годов почти иссякли ресурсы пригодных для сельского хозяйства земель, усилился дефицит пресной воды, необходимой для орошения, замедлился рост производства зерновых. Все это произошло в условиях ежегодного глобального роста населения приблизительно на 90 млн. человек и возрастающего потребления продуктов питания. При этом рост потребления связан не только с ростом численности населения, но и с тем, что проживающие в Азии более 3 млрд. человек стали потреблять больше свиного и говяжьего мяса, птицы, яиц, пива, т.е. таких пищевых продуктов, производство которых связано с большими затратами зерна. Но в 90-е годы рост производства зерна сильно затормозился, увеличившись за 1991–1995 гг. лишь на 3 %. Производство зерна на душу населения уменьшилось до 313 кг в 1996 г. по сравнению с 346 кг в 1984 г. Возросла доля зерна, производимого в условиях нестабильного сельского хозяйства. Подушный размер пахотных земель сократился с 0,23 га в 1950 г. до 0,12 га в 1995 г.

Одним из ключевых факторов почти трехкратного роста зерна в 1950–1979 гг. было расширение орошаемых земель в 2,5 раза. Однако только в 1950–1979 гг. ирригация развивалась быстрее, чем рост населения, позднее началось ее отставание. К 1995 г. площадь орошаемых земель сократилась на 7 %. Причин этого много. Происходит истощение подпочвенных источников воды. Уровень грунтовых вод падает. Возникает дефицит водных ресурсов. Вследствие засоления, заболачивания и подтопления почвы теряются орошае-

мые территории. Наблюдается дефицит подходящих для орошения земель. Наконец, стоимость новых проектов в орошении стала непомерно высокой. Все это не позволит в будущем в сколько-нибудь заметных размерах развивать ирригацию.

Вторым важнейшим фактором роста сборов зерна в период 1950–1989 гг. было применение в больших количествах химических удобрений. За этот период их использование выросло в 10 раз – с 14 до 146 млн. т, но затем начался спад, поскольку обнаружилось, что количество вносимых в землю удобрений превышает физиологические способности сельскохозяйственных культур усваивать биогены. Увеличение вносимых удобрений не приводило к росту продукции. Действительно, если продуктивность пахотных земель увеличилась в среднем с 1950 по 1990 г. с 10,6 до 25,4 ц/га (в США – с 16,5 до 45,6 ц/га, в Китае – с 10,4 до 40,6 ц/га), то в 90-е годы темпы роста резко замедлились.

Наконец, практически прекратился и рост площадей, занятых под зерновые культуры, поскольку почти все пригодные для сельского хозяйства земельные ресурсы уже были задействованы, а деградация занятых земель усилилась.

Сейчас в сельском хозяйстве занято около 50 млн. км^2, или 38% свободной ото льда суши.

Следствием опережающего роста населения по отношению к производству зерна и расширяющихся потребностей людей в зерне, явился выросший импорт зерна. Китай в 90-е годы прошлого столетия из экспортера превратился во второго по масштабам в мире импортера зерна. Сейчас уже более 90 % населения Азии в той или иной степени зависит от импорта зерна.

Возникла ситуация опасной неустойчивости продовольственного снабжения азиатских стран. Подобная ситуация характерна для стран Ближнего Востока, многих стран Африки и даже таких крупных стран американского континента, как Мексика и Бразилия.

Таким образом, есть основания считать, что мы подошли к пределу получения продовольственных ресурсов с поверхности Земли. Это должно заставить человечество задуматься о стратегии дальнейшего развития нашего вида на Земле.

11.2.2 Биологические ресурсы Мирового океана

Под биологическими ресурсами Мирового океана следует понимать запасы животных и растений, обитающих в морской воде, которые используются в настоящее время и могут быть использованы в будущем для удовлетворения потребностей человечества без ущерба их естественного воспроизводства.

Если оценивать значение пищевых продуктов из водных объектов в среднем для человечества, то это значение в общем пищевом балансе очень мало и составляет 2 %. Около 98 % продуктов питания обеспечивает сельское хозяйство на суше, в том числе 87 % белкового питания. Поэтому внимание к биологическим ресурсам океана все время возрастает и многим кажется, что решение вопроса об обеспечении возрастающего населения мира продуктами питания кроется в биологических ресурсах океана.

Но располагает ли Мировой океан потенциальными биологическими ресурсами, которыми без ущерба для их воспроизводства может воспользоваться человек?

Рассмотрим продуцирование биологических ресурсов в Мировом океане по П.А. Моисееву (1989) (табл. 11.2) и распределение первичной продукции в океане (рис. 11.2).

Таблица 11.2

Общая масса и продукция населения Мирового океана (в массе сырого вещества), млрд. т (по П.А. Моисееву, 1989)

Население океана		Биомасса	Продукция
Продуценты			
Фитопланктон		10–12	>1200
Фитобентос		1,5–1.8	>0,7–0.9
Микрофлора		–	40–50
Консументы			
Зоопланктон		5–6	60–70
Зообентос		10–12	5–6
Нектон		6	4
в том числе	криль	2,2	0,9
	кальмары	0,28	0,8–0,9
	мезопелагические рыбы	1,0	1,2
	крупные рыбы	1,5	0,6
Общая биомасса			
Водоросли		20–25	>1200
Микрофлора		–	40–50
Животные		25	70–80

Анализируя данные табл. 11.2, мы видим, что в океане огромную продукцию дает фитопланктон. Огромные запасы фитопланктона человечество не использует. Возможно, такая проблема встанет перед человечеством в ближайшем будущем, поскольку доказана, например, пищевая ценность одноклеточных диатомовых водорослей. Но необходимо знать, что для получения 1 т сырого планктона надо профильтровать 1 млн. т воды, что потребует очень больших затрат. Необходимо будет также решить проблему приготовления продуктов питания из фитопланктона. Но потенциальные возможности использования фитопланктона для питания огромны.

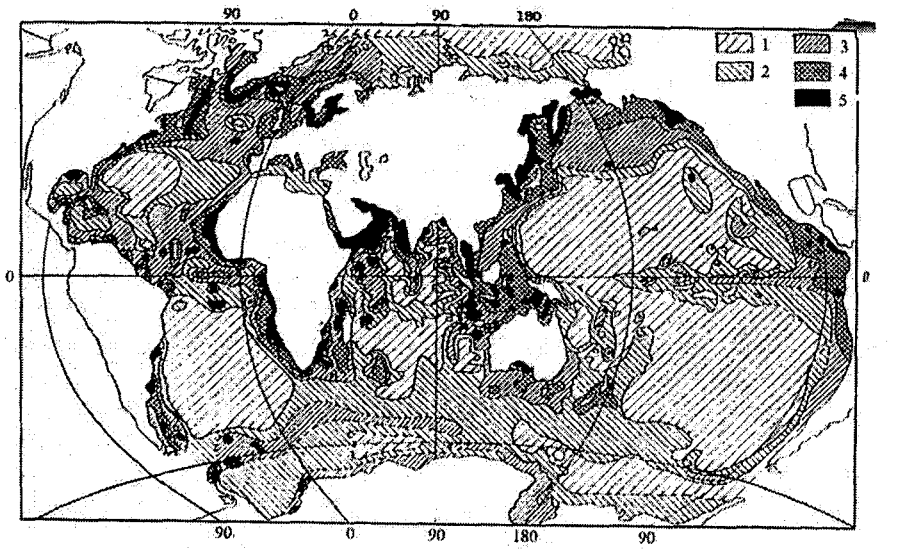


Рис. 11.2. Распределение средней годовой первичной продукции в Мировом океане (по О.И. Кобленц-Мишке, 1985).
1– <100мг·С/(м^2·сут); 2– 100–150; 3– 150–500; 4– 300– 500; 5– > 500 мг·С/(м^2·сут).

Высшая водная растительность в океане продуцирует массу, равную всего 0,7–0,9 млрд. т, т.е. на несколько порядков меньшую по сравнению с фитопланктоном. Но при условии изъятия 10 % их продукции, можно получить около 70 млн. т водорослей для питания. Часть этой продукции уже используется миллионами жителей нашей планеты, особенно на тихоокеанском побережье Азии. Крупные водоросли употребляют в пищу, на корм скоту, в качестве

удобрений, сырья для получения лекарств, поташа, йода, соды, используют в виде ингредиентов хлеба, конфет и т.д.

Зоопланктон – следующее звено в трофической системе морских организмов. Его продукция на два порядка больше по сравнению с традиционным продуктом, которым мы пользуемся, – рыбами. Человек до самого последнего времени не использовал зоопланктон в собственном питании, однако в последние годы некоторые виды зоопланктона в первую очередь криль, человек использует для питания. Возможности увеличения промысла криля и использования его в питании достаточно большие. По крайней мере, около 50 млн. т криля можно изымать из океана без всякого ущерба для его воспроизводства.

Бентос – это те виды животных, которые обитают на дне. Более 98 % всех видов морской донной фауны приурочено к мелководным районам океана. Продукция бентоса 5–6 млрд. т. Различные представители бентоса давно используются в питании человека. Это и знаменитые устрицы, мидии, морские гребешки, разнообразные ракообразные (крабы, лангусты, омары), иглокожие (трепанги) и даже черви (полихеты) и кишечнополостные (сцифоидные медузы). Возможности изъятия продукции без ущерба для воспроизводства составляют не менее 250–300 млн. т. Поэтому здесь имеются также определенные перспективы увеличения промысла и прежде всего за счет видов, пока что мало используемых человеком.

Нектон – это то, что наиболее широко используется человеком, и прежде всего крупные рыбы. Современный улов крупных рыб (около 90 млн. т) находится на предельном, если не сверхпредельном уровне использования этого ресурса океана (рис. 11.3). Переловы стали столь же сильно влияющим фактором на воспроизводство промысловых рыб, как и факторы среды. Возможность увеличения уловов рыбы существует только за счет мезопелагических рыб, ловить которых мы еще должным образом не научились.

В заключение можно отметить следующее. Возможности получения продуктов питания из океана существуют. В первую очередь можно заметно (в разы) увеличить промысел криля и мезопелагических рыб, а также кальмаров, продукция которых велика и позволяет брать из океана до 40–50 млн. т без опасения подрыва их воспроизводства. Возможности увеличения промысла крупных рыб исчерпаны.

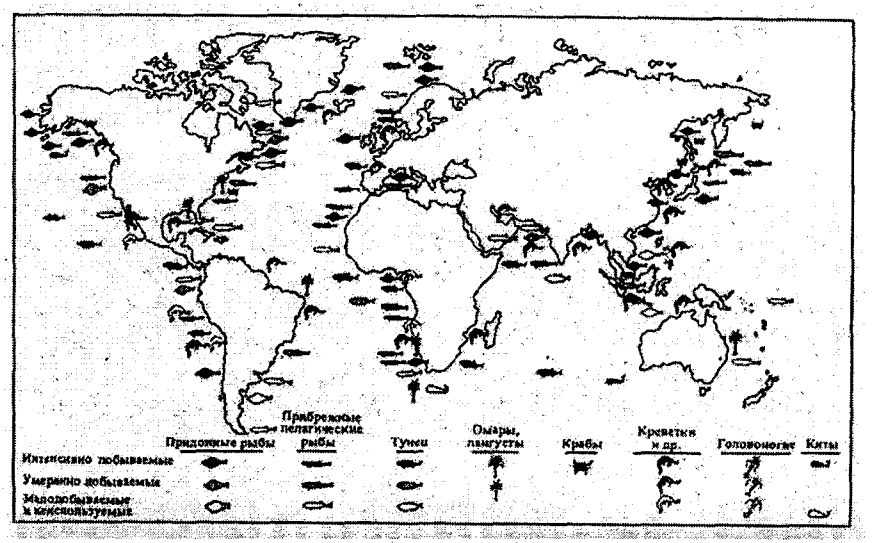


Рис. 11.3. Распределение главных видов промысловых рыб и других морских животных в Мировом океане и степень использования этих ресурсов. (по данным ФАО С.Нешиба, (1991 г.).

В достаточно далеком будущем весьма вероятно использование для питания продукции фитопланктона. Эти возможности огромны, но потребуется решение ряда технологических проблем.

Не следует забывать, что по затратам любая продукция из океана будет всегда значительно превышать сельскохозяйственную продукцию. Поэтому расчет на то, что продукция, из океана, используемая для питания может легко сравняться с продукцией, получаемой на поверхности Земли, маловероятен и, во всяком случае, очень преждевременен. Было бы хорошо, если бы океан обеспечивал нам хотя бы одну треть пищевых ресурсов. Уже это позволило бы решить для многих районов на Земле продовольственную проблему. Но значение решения первой глобальной экологической проблемы – сокращения численности населения Земли – попрежнему останется столь же актуальной.

Глава 12. МЕЖДУНАРОДНАЯ ГЕОСФЕРНО-БИОСФЕРНАЯ ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ И ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

В 80-х годах прошлого столетия к человечеству пришло понимание того, что экологические проблемы являются приоритетными в его жизни и никакие другие проблемы не могут идти с ними в сравнение. Экологическая система нашей планеты, адаптированная к естественным процессам эволюции биосферы, поставила под сомнение возможность своего устойчивого существования в условиях быстрых и масштабных антропогенных изменений всех ее компонентов. Поэтому в конце 80-х годов были сформулированы основы Международной геосферно-биосферной программы «Глобальные изменения», к осуществлению которой приступили в последнее десятилетие XX в. (10 сентября 1990 г.). В соответствии с международной были определены и национальные программы исследований.

Тогда же были сформулированы требования к проведению глобального экологического мониторинга, необходимость которого стала достаточно очевидна.

12.1 Цель и приоритетные направления Международной геосферно-биосферной программы (МГБП)

Основная цель программы МГБП была определена как «исследование основных закономерностей эволюции и трендов дальнейшего развития биосферы и ее основных составляющих». В рамках решения этой основной проблемы были определены и основные приоритетные направления исследований:

– первым приоритетом явилась разработка теории устойчивости биологических систем различного иерархического уровня и изучение факторов, определяющих или нарушающих эту устойчивость;

– вторым важнейшим направлением исследований является изучение геохимических циклов миграции и массообмена химических элементов в биосфере и отдельных ее звеньях, и прежде всего круговорота углерода, азота, фосфора и серы, которые определяются как природными, так и антропогенными факторами.

Деятельность живых организмов выражается в синтезе органических веществ и их разложении. Химический состав окружающей

среды по отношению к биоте остается неизменным, если биохимические круговороты биогенных элементов являются замкнутыми с точностью до малых значений, соответствующих выбыванию органики на депонирование. В невозмущенных антропогенной деятельностью экосистемах замкнутость круговоротов, как мы знаем, поддерживается за счет сложного взаимодействия различных видов живых организмов, образующих биоту и сформировавшихся в процессе длительной эволюции. Антропогенное возмущение биосферы проявляется главным образом в изменении естественной численности организмов различных видов, в том числе и уничтожении отдельных видов и внесении новых химических соединений, масштабы поступления которых сопоставимы или даже превосходят естественные поступления.

Особенно это существенно для углерода, по отношению к которому все еще имеется неопределенность в оценке континентальной биомассы и вклада морской биоты в круговорот углерода. Необходимы и уточнения оценок обмена углеродом между атмосферой и океаном, а также изучение вопросов, связанных с изменениями суммарной продуктивности биоты, обусловленной вариациями круговоротов других компонентов.

К числу главных аспектов исследования глобального круговорота фосфора принадлежат механизмы, контролирующие наличие фосфора в почвах, перенос фосфора реками в океан и связь биопродуктивности океана с содержанием фосфора.

В отношении серы особый интерес представляют оценки биологически обусловленных газообразных соединений восстановленной серы в атмосфере.

В отношении азота принципиальное значение имеет учет взаимодействия между круговоротами углерода и азота.

Третьим важным направлением является исследование биологических систем, а именно, выявление закономерностей строения, функционирования и динамики экосистем различного уровня, разработка основ новых методов и технологий более полного использования биологических ресурсов, увеличения интенсивности продукционных процессов с сохранением и восстановлением регуляторных функций живой природы на локальном, региональном и глобальном уровнях.

Четвертым, несомненно приоритетным, компонентом МГБП является проблема биологической продуктивности на суше и в океане. Условия формирования биологической продуктивности на суше определяются прежде всего ресурсами воды, биогенных компонентов, светом и температурой. Для океана самым важным являются, естественно, лишь три последних фактора.

Понятно, что в связи с этим пятым приоритетным направлением становится изучение изменений климата, поскольку влага на суше, температура, свет и даже в какой-то степени поступление биогенных элементов зависят от изменений климата. Важность изучения динамики климата обусловлена и ее исключительным практическим значением, поскольку хозяйственная деятельность человека напрямую зависит от климатических условий (особенно сельское хозяйство, энергетика, транспорт).

Хотя выводы относительно антропогенных воздействий на озон претерпевали изменения, сохраняется озабоченность относительно влияния на общее содержание озона и вертикальный профиль концентрации озона выбросов хлорфторуглеродных соединений, углекислого газа, окислов азота и метана. Ученым ясно, что возможное воздействие этих компонентов атмосферы на озон взаимосвязано. Существуют несомненные доказательства возрастания их концентрации, однако отсутствуют надежные данные об источниках и стоках перечисленных газов, что не позволяет получить реалистичные прогнозы их трендов в будущем (это особенно справедливо для метана). Поэтому проблема озона требует осуществления широкой программы лабораторных, полевых и теоретических исследований взаимодействующих физических, химических и фотохимических процессов в тропосфере и стратосфере, слежения за изменениями химического состава атмосферы по большому числу компонентов в глобальных масштабах. Следовательно, проблема озона может рассматриваться как шестое приоритетное направление.

Несомненно, что одним из главных приоритетных направлений МГБП (седьмым) является анализ современного состояния взаимодействия человека и окружающей его среды и разработка соответствующих прогностических оценок. Следствием изучения такого взаимодействия должно стать формирование основ экологически оптимального сельскохозяйственного и промышленного производ-

ства и развития транспорта, разработка принципов и методов создания экономических механизмов и организационно-правовых основ управления природопользованием.

В настоящее время в соответствии с перечисленными выше приоритетами осуществляется ряд ключевых направлений разработок:

1. Закономерности химических процессов в глобальной атмосфере и роль биологических процессов в круговоротах малых газовых компонентов.

2. Влияние биогеохимических процессов в океане на климат и обратное воздействие изменений климата на океан.

3. Влияние изменений в землепользовании на ресурсы прибрежных зон морей и океанов, а также воздействие изменений уровня океана и климата на прибрежные экосистемы.

4. Взаимодействие растительного покрова с физическими процессами, ответственными за формирование глобального круговорота воды.

5. Влияние глобальных изменений на континентальные экосистемы.

6. Палеоэкологические и палеоклиматические изменения и их последствия.

7. Системный подход к имитационному численному моделированию земной системы с целью прогноза ее эволюции в будущем.

Каждое из этих направлений имеет в своем составе еще отдельные проекты. Программа в своем конкретном воплощении находится в постоянной разработке и совершенствовании.

12.2. Глобальный экологический мониторинг

Исключительная сложность решения вопроса прогноза глобальной экодинамики определяет острую актуальность создания адекватной системы экологического мониторинга для получения достаточно полных и надежных данных по состоянию и динамике различных характеристик биосферы.

Наблюдать всё невозможно, да и, по-видимому, не нужно. Что наблюдать в первую очередь?

1. С точки зрения состояния биосферы (на основе всего того, что мы знаем) особый интерес представляют наблюдения за биогеофизическими круговоротами углерода, азота, фосфора и серы,

который определяется как природными, так и антропогенными факторами. Это определяет актуальность спутникового слежения за динамикой биомассы в отдельных регионах, которые могут оказаться надежными лишь при наличии адекватных контрольных данных прямых наземных измерений. При этом ключевой аспект наблюдений за круговоротом углерода связан с корректными оценками роли морской биоты в круговороте и оценками обмена углеродом между атмосферой и океаном.

В целом Мировой океан играет ключевую роль в формировании глобальных круговоротов биогенов и в продуктивности биосферы. С точки зрения биогеохимических круговоротов океан функционирует как крупный резервуар биогенных компонентов.

Существенными звеньями функционирования этого резервуара являются:

– обмен веществ между верхними и глубокими слоями океана;

– между океаном и сушей;

– между океаном и атмосферой.

Скорости такого обмена известны плохо. С точки зрения требований к данным наблюдений главная роль принадлежит сведениям о пространственно-временной изменчивости биомассы фитопланктона и первичной продуктивности, которые могут быть получены при помощи спутника, сканированием цвета океана. Естественно спутниковые наблюдения должны сопровождаться контрольными судовыми и буйковыми наблюдениями.

2. Поскольку океан играет ключевую роль в формировании глобального круговорота биогенов, а также в формировании климата Земли, важное значение имеет слежение за параметрами циркуляции океана, температурой океана, уровнем океана, градиентами температуры между поверхностью океана и атмосферой. Здесь актуально применение спутниковых методов наблюдений, буйковых станций, стационарных притопленных станций наблюдений и обычных судовых наблюдений.

3. Исключительную роль играют и наблюдения за состояниями внутренних водоемов, их биологической продуктивностью, потоками различных компонентов между внутренними водоемами, океаном, сушей и атмосферой. Основные наблюдения должны осуществляться за хлорофиллом, температурой, стоком, испарением.

Методы наблюдений – спутниковые и наземные на стационарных станциях.

4. Важнейшим объектом глобального мониторинга являются леса, поскольку леса – это тот компонент биосферы, который обеспечивает ее устойчивость. Леса – это не только формирование биохимических круговоротов в биосфере. Это формирование энергетического и водного баланса планеты, а следовательно, и климата Земли. И скорее всего климатические катастрофы последних десятилетий не столько результат «парникового эффекта», сколько уничтожения лесов и болот. Здесь очень важно решить следующие вопросы:

– роль лесов как источника и стока углекислого газа;

– влияние лесов на локальный и региональный энергетические балансы и в связи с этим на климат;

– влияние лесов на формирование осадков в больших пространственных масштабах через их влияние на компоненты гидрологического цикла, речной сток, влаго- и снегозапасы;

– влияние лесов на качество природных вод.

Вид наблюдений за лесами тот же.

5. Важную роль играют и наблюдения за состоянием почв: их влажностью, растительным покровом, температурой. Состояние почвенного покрова определяет не только круговорот элементов, но и формирование климата. О последнем часто забывают.

6. Особую роль играет мониторинг состояния тропосферы, которая во многом объединяет все оболочки Земли, формирующие биосферу. Именно в ней протекают многие процессы, контролирующие геобиохимические круговороты.

Необходимо наблюдать:

– вклад биологических источников в формирование круговоротов биогенов и других важных с точки зрения климата компонентов тропосферы (влияние лесов, зон травяного покрова, интенсивно культивируемых районов, прибрежных вод, болот, зон континентального шельфа, открытого океана, участков сжигания биомассы);

– интенсивность источников аэрозоля (пыль, сжигание топлива и т.д.), особый интерес представляет аэрозоль пустынь;

– глобальное распределение основных газовых и аэрозольных компонентов и компонентов гидрологического цикла (облака, водяной пар, осадки);

– взаимодействие тропосферы со средней атмосферой (обмен массой, энергией и химическими компонентами).

7. Наконец, одним из важных объектов наблюдений глобального биосферного мониторинга являются полярные ледники и снежный покров. При слежении за ледниками необходимо наблюдать их границы, изменение высоты уровня, скорости аккумуляции, температуру поверхности, таяние и откалывание айсбергов. При наблюдениях за снежным покровом важно знать площади его распространения и толщину.

Спутниковые наблюдения позволяют решать эти задачи наряду с наземными наблюдениями, обеспечивающими привязку спутниковых данных. Сейчас разработано достаточно много аппаратуры, используемой на природоресурсных спутниках.

Наиболее известные спутники – EOS – совместная разработка американского агентства NASA, европейского космического агентства ЕАА и Японии. Эти спутники позволяют собирать и анализировать информацию о процессах в атмосфере, океане и на суше.

Большую роль могут играть наблюдения с самолетов, буйковые станции в океане и автоматические станции на ледниках, устанавливаемые сбросом с самолетов. Но при этом для контроля, калибровки всегда необходимы наблюдения на стационарных станциях.

Технические возможности наблюдений за состоянием природной среды и процессами, происходящими в биосфере, все время возрастают, и можно ожидать, что в скором времени Глобальный экологический мониторинг на основе спутниковых, самолетных наблюдений, дополненный наземными стационарными наблюдениями, а также наблюдениями с автоматических станций в океане, на ледниках и в труднодоступных областях планеты, позволит обеспечивать постоянный контроль за состоянием биосферы Земли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Необходимость обращения к истории формирования и развития биосферы исходит из основной проблемы, стоящей перед современной геоэкологией, – насколько реально мы угрожаем устойчивости биосферы Земли в настоящее время. В ходе своего развития биосфера с каждым кризисом наращивала свою устойчивость и прежде всего способность регуляции биогеохимических круговоротов. Тем не менее в настоящее время мы многого еще не знаем и поэтому не можем дать однозначного ответа на этот вопрос.

Однако многое для нас уже стало достаточно очевидным. Первое это то, что высокоорганизованная жизнь на Земле – это уникальное явление. Необходимо было случиться стольким многим очень важным совпадениям при формировании и развитии нашей планеты, чтобы на ней могла сформироваться такая уникальная биосфера. Например, возникновение и развитие жизни оказалось возможным только благодаря уникальному температурному и водному режиму на Земле, что, в свою очередь определялось совпадением многих факторов при формирования Земли. Возникая и развиваясь, жизнь уже сама воздействовала и формировала окружающую среду и в конечном итоге достигла такого уровня организации, что появился вид Homo sapiens. Достаточно было бы иметь в первоначальном составе Земли больше железа или углерода или меньше воды и жизнь на Земле могла бы не возникнуть или возникнув, погибнуть. Не окажись вблизи орбиты Земли такой планеты, как Протолуна, с одной стороны, небольшой, а с другой – достаточной по массе, чтобы после ее захвата полем тяготения Земли суметь запустить геологическое развитие Земли еще 4 млрд. лет назад, все развитие Земли могло пойти совсем по-другому сценарию, и скорее всего на Земле до сих пор не было бы высокоорганизованной жизни. Нельзя не сказать и о том, каким "удачным" оказалось расстояние от Земли до Солнца. Будь оно несколько большим или несколько меньшим – и снова не стоял бы вопрос о высокоорганизованной жизни на Земле, а, возможно, и о жизни вообще.

Поэтому иногда удивляет, с какой легкостью даже в научно-популярной литературе, не говоря уже о телевидении, пишут и говорят о множестве цивилизаций, о регулярности посещения Земли инопланетянами и даже о том, что человек на Земле был ими кло-

нирован. Так можно говорить только в том случае, если не знать или сознательно игнорировать все накопленные знания о развитии нашей планеты, формировании и эволюции биосферы Земли. Еще раз хочется повторить, что высокоорганизованная жизнь на Земле – это уникальное явление. Вероятность существования жизни, подобной нашей земной, очень мала и, видимо, именно этим объясняется то, что мы не получаем ответа из космоса, несмотря на многочисленные попытки выйти на связь с другими цивилизациями.

Возникнув, биосфера за 4 млрд. лет своего существования выработала такое удивительное взаимодействие всех своих составных частей, что, ни разу не дав жизни погибнуть во времена кризисов, каждый раз поднимала ее на новый более высокий уровень и повышала собственную устойчивость. Можно только удивляться, как ей удавалось этого добиваться, особенно в той нестабильной обстановке, которая была характерна для начального периода развития нашей планеты.

Биосфера способна и дальше справляться со своими задачами, но лишь при условии, что человек не будет пытаться управлять биосферой. Биосфера лучше самых умных из нас справится с задачей сохранения жизни на Земле и сохранения нас как вида. Чтобы она сумела это сделать без очередного кризиса, мы должны научиться ограничивать себя в неизмеримо возрастающих потребностях. Необходимо помнить, что мы только один из видов на Земле. Мы не имеем права и никогда не сможем управлять биосферой и бесконтрольно использовать продукцию биосферы в своих интересах. К сожалению, часто приходится сталкиваться даже в учебной литературе для экологов с ложным утверждением: изучение экологии должно помочь нам более правильно преобразовывать природу.

Если мы не сумеем ограничить себя и будем безжалостно уничтожать биосферу и, в первую очередь, главную ее составную часть – биоту (вырубать леса, уничтожать болота, саванны, превращать в пустыню шельф моря), то в конечном счете биосфера просто уничтожит нас как вид. К сожалению, в результате кризиса, нами спровоцированного, погибнут и многие виды животных и растений. Но биосфера не погибнет, она переживет кризис и пойдет дальше в своем естественном развитии, но уже без нас.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алимов А.Ф.* Элементы функционирования водных экосистем. СПб, Наука, 2000
2. *Аллер Л.* Атомы, звезды и туманности, М., Мир, 1976
3. *Бигон М., Харпер Дж., Таунсен К.* Экология: особи, популяции и сообщества, т. 1 и 2, м., Мир, 1989
4. *Бродский А.К.* Введение в проблемы биоразнообразия, Спб, Из-во СПГУ, 2002
5. *Будыко М.И., Ронов А.Б., Яншин А.Л.* История атмосферы, Л., Гидрометеоиздат, 1985.
6. *Вернадский В.И.* Научная мысль как планетарное явление. М., Наука, 1991
7. *Виноградов М.Е., Михайловский Р.Е., Монин А.С.* Вперед к природе. Вестник РАН, т. 64, №9, 1994
8. *Воробьев В.Н. Смирнов Н.П.* Общая океанология, часть II, СПб, Из-во РГГМУ, 1999
9. *Воробьев В.Н., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П.* «Глобальное потепление» – миф или реальность? Проблемы теоретической и прикладной экологии, СПб, Из-во РГГМУ, 2005
10. *Голубев Г.Н.* Геоэкология, М., Геос, 1999
11. Глобальные изменения природной среды (климат и водный режим) М., Научный мир, 2000
12. *Горшков В.Г.* Физические и биологические основы устойчивости жизни М., 1995
13. *Грин Н., Стаут У., Трейлер Д.* Биология, т. 1–3, М., Мир, 1996
14. *Дольник В.Р.* Непослушное дитя биосферы, СПб, Паритет, 2003
15. *Изаков М.Н.* Можно ли сохранить биосферу, Вестник РАН, т. 66, №4, 1996
16. *Израэль Ю.А., Цибань А.В.* Антропогенная экология океана. Л., Гидрометеоиздат, 1989
17. *Кондратьев К.Я.* Глобальный климат СПб, Наука, 1992
18. *Кондратьев К.Я., Данченко В.К.* Экодинамика и экополитика, т. 1, СПб, 1999
19. *Коробкин В.И., Передельский Л.В.* Экология, Ростов на Дону, Деникс, 2005
20. *Левченко В.Ф.* Модели и теории биологической эволюции. СПб, Наука, 1993
21. *Малиновский Ю.М.* Недра – летопись биосферы. М., Недра, 1990
22. *Моисеев М.Н.* Стратегия переходного периода, Вестник РАН, Т 65, №4, 1995
23. *Монин А.С.* История Земли. Л., Наука, 1977
24. *Одум Ю.* Экология, М., Мир, 1986
25. *Понаморенко А.Г.* Основные события в эволюции биосферы. М., Наука, 1993
26. *Ревель П., Ревель Ч.* Среда нашего обитания, т. 1–3, М., Мир, 1994–1995
27. *Скиннер Б.* Хватит ли человечеству земных ресурсов? М., Мир, 1089
28. *Сорохтин О.Г., Ушаков С.А.* Глобальная эволюция Земли, Из-во МГУ, 1991
29. *Тейер де Шарден П.* Феномен человека, М., Мир, 1987
30. *Уиттекер Р.* Сообщество и экосистемы, М., Мир, 1980
31. Управление планетой Земля, Ж. В мире науки, № 11, 1989
32. *Фелленберг Г.* Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию. М., Мир, 1997
33. *Шаманов Н.П.* Цивилизация, энергетика, климат в XXI веке, СПб, 2002
34. *Шопф Т.* Палеоокеанология, М., Мир, 1982
35. *Яблоков А.В., Юсуфов А.Г.* Эволюционное учение, М., Высшая школа, 1998

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Введение 5
Часть I. Образование, эволюция и устоцчивость биосферы Земли 12
Глава 1. Эволюция Земли как планеты 12
1.1. Происхождение солнечной системы и образование Земли 13
1.2. Образование двойной планеты Земля – Луна, роль Луны в эволюции Земли 17
1.3 Состав и строение первичной Земли 21
1.4 Догеологическое развитие Земли в катархее 23
1.5. Энергетика Земли 25
1.5.1. Энергия приливного взаимодействия Земли и Луны 26
1.5.2. Энергия распада радиоактивных элементов в Земле 29
1.5.3. Энергия гравитационной дифференциации вещества Земли 30
1.6 Общие представления о бародиффузионной модели конвекции мантии .. 33
1.7. Формирование литосферы и тектоническая активность Земли 36
Глава 2. Образование и эволюция гидросферы и атмосферы 43
2.1. Химическая эволюция конвектирующей мантии 43
2.2. Формирование гидросферы Земли 46
2.2.1 Накопление воды в гидросфере Земли 46
2.2.2. Изменение уровня Мирового океана 50
2.2.3. Эволюция химического состава океана 56
2.3. Формирование и эволюция атмосферы Земли 58
2.3.1 Накопление азота и углекислого газа в атмосфере Земли 60
2.3.2. Изменение количества кислорода в атмосфере Земли 67
2.4. Эволюция теплового режима атмосферы 75
Глава 3. Эволюция биосферы 85
3.1. Возникновение жизни на Земле 85
3.2. Эволюция жизни в докембрии 88
3.3. Эволюция жизни в фанерозое 95
3.4. Темпы эволюции жизни 110
3.5. История класса приматов 121
3.6. Физико-экологическая концепция развития биосферы 132
Глава 4. Устойчивость жизни на Земле 137
4.1. Биотическая регуляция окружающей среды 137
4.2. Механизмы биологической регуляции окружающей среды 138
4.3. Нарушается ли принцип Ле Шателье в современной биосфере? 144
4.4. Механизмы устойчивости биосферы 148
4.5. Стабильность биоты и эволюция 153
4.6 Прогресс человеческого общества и проблема сохранения биосферы ... 156
4.7. Ноосфера и возможность ее построения на Земле 169
Часть II. Глобальные экологические проблемы 176
Глава 5. Рост народонаселения 176
5.1. Биологические причины роста численности населения Земли 176

5.2. Социальные причины роста численности населения ... 179
5.3. Социальные пути снижения численности населения ... 180
5.4. Естественный, или биологический, путь сокращения численности населения ... 182
5.5. Что может ожидать человека в обозримом будущем? ... 191
Глава 6. Проблемы сохранения живой природы ... 192
6.1. Понятие видового разнообразия и его показатели ... 192
6.2. Ценность биоразнообразия в целом и каждого вида в отдельности ... 196
6.3. Основные причины исчезновения видов ... 199
6.4. Международная конвенция о биологическом разнообразии ... 204
Глава 7. Деградация почв ... 206
7.1. Причины деградации земель ... 206
7.1.1. Опустынивание почв ... 206
7.1.2. Эрозия почв ... 208
7.1.3. Засоление почв ... 210
7.1.4. Закисление почв ... 210
7.1.5. Уплотнение почв ... 211
7.1.6. Загрязнение земель ... 211
7.1.7. Изъятие земель из землепользования ... 214
7.2. Пути снижения деградации почв ... 215
Глава 8. Загрязнение атмосферы и глобальные экологические проблемы ... 220
8.1. Проблема «глобального потепления» ... 220
8.2. Проблема сохранения озонового слоя на Земле ... 235
8.3. Проблема кислотных осадков ... 240
Глава 9. Глобальные экологические проблемы истощения и загрязнения гидросферы ... 244
9.1. Истощение подземных и поверхностных вод ... 244
9.2. Проблемы, связанные м загрязнением поверхностных и подземных вод суши ... 248
9.2.1. Евтрофикация водоемов ... 250
9.2.2. Закисление водоемов ... 251
9.2.3. Загрязнение грунтовых вод ... 252
9.2.4. Проблема питьевого водоснабжения ... 253
9.3. Проблема загрязнения Мирового океана ... 257
9.3.1. Евтрофикация внутренних морей и океанического шельфа ... 257
9.3.2. Загрязнение углеводородами ... 258
9.3.3. Загрязнение тяжелыми металлами ... 262
9.4. Международное сотрудничество в области охраны морской среды ... 263
Глава 10. Проблема бытовых и промышленных отходов ... 265
10.1. Рециклинг, сжигание и депонирование неопасных отходов ... 265
10.2. Опасные отходы и методы их депонирования и уничтожения ... 267
Глава 11. Проблема обеспечения человечества природными ресурсами ... 271
11.1. Минеральные ресурсы ... 272
11.1.1. Горючие ископаемые ... 272

11.1.2. Нетрадиционные виды энергии, способные заменить горючие ископаемые 276
11.1.3. Металлы 281
11.1.4. Агрохимическое, химическое сырье и строительные материалы ... 285
11.2. Пищевые ресурсы человечества 287
11.2.1. Пищевые ресурсы континентальной части Земли 288
11.2.2. Биологические ресурсы Мирового океана 290
Глава 12. Международная геосферно-биологическая программа исследований и глобальный экологический мониторинг 294
12.1. Цель и приоритетные направления Международной геосферно-биосферной программы (МГБП) 294
12.2. Глобальный экологический мониторинг 297
Заключение 301
Литература 303

Учебное издание

Смирнов Николай Павлович

Г Е О Э К О Л О Г И Я

Учебное пособие

Редактор И.Г. Максимова

ЛР № 020309 от 30.12.96.

Подписано в печать 23.11.06. Формат 60x90 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.печ.л. 19,2. Уч.-изд.л. 19,2. Тираж 300 экз. Заказ № 90
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
ЗАО «НПП «Система», 195112, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр.,80/2..