

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-
БРУЕВИЧА» (СПбГУТ)**

Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

**КУРС ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ»
Направление подготовки 05.03.06 Экология и
природопользование
Разработчик: доцент, к.б.н. Фертикова Е.П.**

**Санкт-Петербург
2017**

Тема 1

ПОНЯТИЕ О БИОСФЕРЕ – ОБЛАСТИ РАСПОСТРАНЕНИЯ

ЖИЗНИ

1.1. Живое вещество биосферы

Границы биосферы. Биосфера – это область распространения жизни, включающая наряду с организмами и среду их обитания. В масштабе планеты биосфера – это часть геологической оболочки Зем-ли, включающая верхнюю часть литосферы, всю гидросферу и ниж-нюю часть атмосферы – тропосферу, в которых существует жизнь (рис. 1).

Более точные границы биосферы не просто обозначить и сегодня. Для их выявления используют сведения о сфере распространения жи-вых организмов. Рассмотрим, какие физико-химические условия опре-деляют существование живых организмов. Во -первых, это достаточное количество углекислого газа и кислорода. В Гималаях распростране-ние зеленой растительности ограничено высотой 6200 м, где парци-альное давление углекислого газа вдвое ниже, чем на уровне моря. Однако и выше 6 км встречаются виды пауков и насекомых, которые питаются органическими остатками, занесенными ветром. Считается, что в биосферу входит нижний слой атмосферы - тропосфера, который простирается до высоты 8-10 км в полярных широтах и до 16-18 км в тропиках.

Вторым фактором, ограничивающим существование живых орга-низмов, является достаточное количество воды, обеспечивающее нор-мальный ход ферментативных процессов. Отличительной особенно-стью живого является его обводненность. Содержание воды в тканях живых организмов примерно в 5 раз больше, чем во всех реках плане-ты. Половина воды, содержащейся в корнях растений, обновляется в течение нескольких минут. Круговорот воды на суше в значительной степени определяется транспирацией растений. При всем этом воз-можно, что на поверхности Земли нет таких участков, где жизнь огра-ничена водой. Даже в наиболее сухих пустынях Африки под слоем сухого песка встречаются жуки-чернотелки, они обходятся без атмо-сферной и почвенной влаги, получая ее только с пищей, а пища прино-сится по воздуху: останки животных, насекомые, иногда мертвые пти-цы.

В-третьих, для живых организмов необходим благоприятный термический режим, исключающий слишком высокие температур (происходит свертывание белков) либо слишком низкие температуры (прекращающие работу ферментов). Чемпионами по выживанию яв-ляются

прокариоты, которые выдерживают в состоянии анабиоза экстремальные температуры.

Рис. 1. Земная кора (по В. Е. Хаину) и граница биосферы (по А. И. Перельману): 1 – осадочный слой; 2 – "гранитный" слой; 3 – "базальтовый" слой; 4 – верхняя мантия; 5 – граница биосферы; 6 – нижняя граница вещества, прошедшего через биосферу (былые биосферы)

Некоторые их виды живут на снегу, в лужицах пресной воды на льдинах, в скальных породах Антарктиды. Другие прокариоты обитают в горячих источниках при температуре до 98°C , а в подземных водах - и при 100°C . В прибрежных водах Антарктиды живут прокариоты, отделенные от внешнего мира слоем льда в 420 м. Укрывающий их панцирь существует не менее 120 тыс. лет. Известны бактерии, которые переносят двадцатичасовое пребывание при температуре -252°C . Двухсотградусный мороз они способны выдерживать в течение многих месяцев. В подводных гейзерах Восточно-Тихоокеанского хребта обитают термофильные бактерии, способные размножаться при температуре $+250^{\circ}\text{C}$, причем они сохраняют жизнеспособность при повышении температуры еще на 100°C . Итак, температурная амплитуда существования одноклеточных – 600°C .

Диапазон давления, при котором возможна жизнь, изменяется от 8000 атмосфер (выживают дрожжи) до 0,001 миллибар (семена и споры) и даже до 10^{-11} мм рт. ст. (одноклеточные организмы).

Океан заселен полностью. Углекислый газ океанических вод усваивается автотрофными растениями в ходе фотосинтеза, создаваемое ими органическое вещество обеспечивает существование всех морских организмов, даже на глубинах более 10 км живут многоклеточные ор-

ганизмы типа иглокожих – "морские огурцы". Распространение жизни вглубь донных осадков ограничивается десятými долями метров, максимально – единицами метров.

В. И. Вернадский предполагал, что вся осадочная оболочка Земли заселена бактериями, но его предположение не подтвердилось. Нижняя граница биосферы на континентах ограничена температурой и концентрацией солей. В Западной Сибири активная и разнообразная анаэробная микрофлора была найдена на глубине более 3000 м, однако если содержание солей в водах составляет более 270 г/л, то бактерии отсутствуют и на меньших глубинах (до глубины 500 м – в Ангаро-Ленском бассейне, 1200 м – в Волго-Камском).

Ионизирующие излучения являются мощным фактором разрушения живых организмов. Однако есть микроорганизмы, концентрирующие уран, процветающие в природных зонах радиоактивного заражения. Некоторые их представители живут даже в ядерных реакторах, где доза ионизирующего облучения составляет 2-3 млн рад. В определенных интервалах черносланцевых толщ практически отсутствуют остатки фауны и флоры, кроме отмерших микроорганизмов, бывшая биомасса которых составляет до 10-20 % веса пород (баженовская свита рубежа юры и мела в Западной Сибири). Нельзя исключать, что аномальное концентрирование урана микроорганизмами в определенные геологические эпохи преследовало цель утилизировать энергию радиоактивного распада при отсутствии других источников.

Иногда под биосферой понимается зона существования не только живых организмов, но и продуктов их жизнедеятельности. В этом случае границы биосферы становятся недостаточно определенными: молекулы кислорода, создаваемого автотрофными организмами, достигают верхних пределов атмосферы, которые оценить можно только приближенно. Наряду с этим продукт жизнедеятельности тех же растений – органический углерод может перемещаться благодаря вертикальным тектоническим движениям от земной поверхности на значительные глубины, которые трудно определить точно. В. И. Вернадский определял "былые биосферы" как оболочку Земли, когда-либо подвергавшуюся воздействию жизни, он писал, что земная кора захватывает в пределах нескольких десятков километров ряд геологических оболочек, которые когда-то были на поверхности Земли биосферами.

В. И. Вернадский впервые дал определение биокосных систем и охарактеризовал самую крупную из них – биосферу. Биокосные системы состоят из живого вещества и косного, но их отличительные особенности определяются прежде всего жизнью. Рассмотрим основные параметры

живого вещества в современной биосфере: видовое многообразие, биомассу, биологический круговорот.

Видовое многообразие (численность видов). Различные исследователи пытались подсчитать количество видов, населяющих планету. Эти подсчеты не могут претендовать на большую точность. В отношении разнообразия прокариот в научной литературе данные весьма противоречивы. Система этих организмов строится на молекулярно-биологических и биохимических признаках, о которых сейчас практически невозможно сказать, какие из них более архаичны и в какие прогрессивные признаки они могли (или не могли) трансформироваться в ходе эволюции. Поэтому их система строится на основе сходств и различий. Попыток таких построений довольно много, и пока они не согласуются между собой. Называют общее количество видов прокариот

– 3000 (Курс низших растений / Под ред. М.В.Горленко. 1981). Академик А.Н. Кондратьева (1996) приводит данные по видам некоторых групп автотрофных прокариот: цианобактерии – 1000, пурпурные бактерии – 50, сульфатвосстанавливающие – 50, бесцветные серные – 50, зеленые – 20, нитрифицирующие – 13, эриробактерии – 10, серовосстанавливающие – 4. О.Г.Кусакин, А.Л.Дроздов (1997) называют количество видов цианобактерий – 2000, псевдомонадных бактерий – 10n-100n, кластридиобактерий – 50, археобактерий – 45, хламидиобактерий – 2.

В отношении видового многообразия эукариот существует некоторая определенность (см. схему на с. 13).

Количество видов животных более чем в 4 раза превосходит количество видов растительных организмов. Следовательно, животное население более разнообразно, чем растительное. Ведущее положение среди животных занимают членистоногие, в частности насекомые, на долю которых приходится 80 % общего количества видов. За членистоногими идут моллюски. Позвоночные занимают 3-е место (около 3 %). Млекопитающие составляют лишь десятую часть позвоночных животных. Почти 50 % общего количества видов позвоночных приходится на долю рыб.

Видовое многообразие эукариот (количество видов)

Растения		Животные	
Водоросли	30000	Простейшие	30000

Лишайники	26000	Губки	5000 (до 10000)
Мохообразные	22000- 27000	Кишечнополостные	10000
Плауновидные	1000	Плоские черви	12000 (до 25000)
Псилотовидные	12	Нематоды	20000
Хвощевидные	25	Кольчатые черви	19000 (до 75000)
Папоротникооб- разные	10000	Моллюски:	113000
Голосеменные	796	брюхоногие	90000
Покрытосемен- ные	240000	двустворчатые	20000
		Членистоногие:	более 1100000
		насекомые	1000000
		паукообразные	63000
		ракообразные	30000 (до 40000)
		многоножки	15000
		Иглокожие	6250
		Другие беспозво- ночные	11000

		Хордовые:	44000
		ланцетники	60
		круглоротые	50
		хрящевые рыбы	730
		костные рыбы	20150
		земноводные	
		пресмыкающиеся	
		птицы	
		млекопитающие	
Всего	329800-	Всего	1370000-
	334800		1444000
Грибы	100000	Цит по: Жизнь животных. М: Просвещение, 1983-1989. Т 1-7.	
	Цит. по: Биологический энциклопедический словарь. М: Советская энциклопедия, 1989	Цит по: Барнс Р., Кейлоу П., Олив П., Голдинг Д. Беспозвоночные. Новый обобщенный подход. М: Мир, 1992.	

Растения	Животные
Цит по: Мир растений. М: Просвещение, 1991. Т. 2.	Имеются обоснованные прогнозы, что в биосфере обитает не менее
Цит по: А.Г. Еленевский, М.П. Соловьева, В.Н. Тихомиров. Ботаника высших, или	1000000 нематод и несколько миллионов видов насекомых, не открыто пока огромное множество паукообразных.

наземных, растений. М: Изд.

Центр "Академия", 2000.

В составе простейших около 7000 видов (4 типа и 7 классов) представлены исключительно паразитическими видами. Паразитов и симбионтов много среди инфузорий, жгутиконосцев, они есть и среди саркодовых. Общее число паразитов достигает 10 тыс. из 30 тыс. видов простейших.

Около 40000 видов многоклеточных беспозвоночных (42 класса из 75 классов, из 17 типов) являются исключительно или преимущественно (более 99% видов) морскими: многостетинковые черви – 13000, кишечнополостные – 10000 (из них в пресных водах обитает около 15 видов, т.е. 0,15%), иглокожие – 6250 видов.

В морях и пресных водах обитают представители многочисленных классов (12 классов из 9 типов) двустворчатых моллюсков – 20000 видов, брюхоногих – 90000, ракообразных – 30000-40000 видов. Относительно немного видов двух последних классов приспособились к жизни на суше. Из 12 указанных выше классов немногие преобладают в пресных водах: колдовратки – 1500 видов, волосатики – 250 видов, пиявки – 400 видов (олигохеты в основном почвенные – 4000 видов; из водных обитателей преобладают пресноводные – 1000 на 200 видов морских).

Наземная фауна беспозвоночных представлена в основном насекомыми, паукообразными и многоножками; почвенная – нематодами, малостетинковыми червями и мелкими членистоногими. Нематоды освоили все возможные места обитания и играют исключительно важную роль в сапробиотических процессах в растительном опаде, в почве (т.е. они не только почвенные, но и наземные обитатели, однако еще малоизученные).

Исключительно паразитическими видами представлены около 10000 видов многоклеточных беспозвоночных (10 классов из 5 типов). Среди них 6 классов паразитических плоских червей, объединяющие 9000 видов. Немало паразитов в некоторых других классах: известно около 7000 паразитических нематод и примерно столько же в классе ракообразных (в основном среди копепод). Общее количество паразитических видов многоклеточных беспозвоночных достигает 25000.

Среди хордовых обитатели морских и пресных вод (включая земноводных) составляют около 47 % видов.

Более 70% всех видов растений (240 тыс.) приходится на долю покрытосеменных – наиболее поздно сформировавшейся группы сухопутных растений. По 8-9% от общего количества видов растений приходится на водоросли, мхи и лишайники. Затем следуют папорот-

ния	ния	микроор- ганизмы			низмы		
т	2,4· 10 ¹²	0,02· 10 ¹²	2,42· 10 ¹²	0,0002· 10 ¹²	0,003· 10 ¹²	0,0032· 10 ¹²	2,4232· 10 ¹²
%	99,2	0,8	100	6,3	93,7	100	-

По массе на континентах преобладают растения, в океане – жи-вотные. Характерна низкая биомасса океана – всего 13 % от суммар-ной биомассы организмов планеты, хотя океан занимает 70,2 % всей поверхности земли. Биомасса суши – $2,4 \cdot 10^{12}$ т сухого вещества зелен-ных растений и $0,02 \cdot 10^{12}$ т животных и микроорганизмов (итого $2,42 \cdot 10^{12}$ т). В океане масса зеленых растений – $0,0002 \cdot 10^{12}$ т сухого

вещества, животных и микроорганизмов – $0,003 \cdot 10^{12}$ т (итого $0,0032 \cdot 10^{12}$ т).

Живое вещество планеты сосредоточено в основном в зеленых растениях суши, а организмы, не способные к фотосинтезу, составляют менее 1 %. При этом количество видов растений в 4 раза меньше, чем животных, биомасса которых составляет менее 1 % всей биомассы планеты. Таким образом, более высокий уровень дифференциации жи-вого вещества сосредоточен в меньшем объеме, чем уровень, менее дифференцированный.

Биологический круговорот В основе функционирования биосфе-ры лежит биологический круговорот вещества, осуществляющийся при участии всех населяющих ее живых организмов. На Земле запасы элементов питания, доступных для функционирования жизни, ограни-чены. Для бесконечно долгого существования жизни они должны вра-щаться по замкнутой кривой. Каждый вид организмов представляет собой звено в биологическом круговороте. Используя в качестве средств существования тела или продукты распада одних организмов, он должен отдавать в среду то, что могут использовать другие. Непре-рывность жизни обеспечивается процессами распада, деструкцией. В результате деятельности деструкторов,

преимущественно микроорганизмов, любая форма жизни будет неизбежно включаться в круговорот. С их помощью осуществляется естественная саморегуляция биосферы. Микроорганизмы сравнительно быстро приспосабливаются к различным условиям и способны использовать в качестве источника углерода и энергии самые различные субстраты. Высшие не обладают такими возможностями, существуют в качестве своеобразной надстройки на прочном фундаменте одноклеточных.

По А. А. Нечипоровичу, поверхность Земли получает ежегодно от Солнца $5 \cdot 10^{20}$ ккал лучистой энергии. Половина ее идет на физическое испарение воды, приводя в движение большой геологический круговорот веществ. На создание органического вещества расходуется 0,1-0,2 % этой солнечной энергии. В соответствии с классическим уравнением фотосинтеза – $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ для производства $46 \cdot 10^9$ т органического углерода требуется, чтобы ежегодно $170 \cdot 10^9$ т углекислоты связались с $68 \cdot 10^9$ т воды, образуя $115 \cdot 10^9$ т сухого органического вещества и $123 \cdot 10^9$ т кислорода. При этом усваивается $44 \cdot 10^{16}$ ккал фотосинтетически активной солнечной радиации. Кроме того, при фотосинтезе ежегодно используется $6 \cdot 10^9$ т азота, $2 \cdot 10^9$ т фосфора и других элементов минерального питания (калий, кальций, магний, сера, железо, медь, марганец, молибден, кобальт и др.). Большое количество воды расходуется на транспирацию.

Н. И. Базилевич, Л. Е. Родин, Н. Н. Розов подсчитали, что суммарная первичная продукция в год составляет 232,5 млрд т сухого органического вещества (в 2 раза больше, чем по А. А. Нечипоровичу), на долю континентов приходится 172,5 млрд т, на долю океана - 60 млрд т (25,8 %). Фитомасса океана, составляющая всего 1 % от суммарной фитомассы, создает 25,8 % первичной продукции. Следовательно, механизм продуцирования органического вещества в океане более эффективен, чем на суше. Это связано с различной структурой биологического круговорота: на суше продукция создается относительно медленно растущими покрытосеменными растениями, в океане

– быстро размножающимися планктонными водорослями.

В научной литературе существуют также данные о более высокой продуктивности океана. Так, по Г.В.Войткевич и др. (1983), годовая продукция ($C_{\text{орг}}$) растений суши составляет $25 \cdot 10^9$ т органического углерода, в то время как фитопланктон производит $82 \cdot 10^9$ т $C_{\text{орг}}$ в год.

Ежегодно возобновляется около 10 % биомассы растений ($232,5 \cdot 10^9$ т). Для сохранения относительной стабильности биологического круговорота приход органического вещества должен компенсироваться расходом потребления его животными и микроорганизмами, масса которых

– $23 \cdot 10^9$ т. Следовательно, наземные организмы (животные, грибы, микроорганизмы) должны ежегодно разрушать массу органического вещества, в 10 раз превосходящую их собственный вес.

По данным американского исследователя Е. Рабиновича, весь кислород атмосферы оборачивается через организмы примерно за 2 тыс. лет, углекислота – за 300 лет, а вся вода океанов, морей и рек разлагается и восстанавливается в биологическом круговороте за 2 млн лет. Следовательно, за время эволюции жизни не только углекислота и кислород, но и вся вода прошла через живое вещество планеты не одну тысячу раз.

Биологический круговорот, основанный на взаимодействии синтеза и деструкции органического вещества, – одна из самых существенных, если не самая существенная, форм организации жизни в планетарном масштабе. Только она обеспечивает непрерывность жизни и ее прогрессивное развитие.

1.2. Эволюция представлений о единой картине мира

Одним из важнейших элементов мировоззрения Человека является представление о мире и своем месте в этом мире или, как иногда говорят, о единой картине мира. Она меняется во времени. Эволюция единой картины мира интересна и поучительна.

Истоки европейской цивилизации лежат в античной Греции, создавшей культуру, обладающую удивительной цельностью и единством. Древние эллины оказались родоначальниками рационального гуманизма, который определяет черты европейской культуры. Греки обладали цельным и ясным миропониманием. Был космос, небо, где жили боги. На Земле жили люди. Но пропасти между ними не было, они составляли единое целое. Боги были похожи на людей, вмешивались в судьбы людей, были к ним в основном доброжелательны, могли сделать равными себе. В средневековье связь с греческой культурой не прерывалась, сохранилось аристотелевское видение мира, того неразрывного единства, где вместе существуют и Бог, и Космос, и Человек.

С открытиями Н. Коперника, Г. Галилея, И. Ньютона появился научный метод, которому человечество обязано всеми достижениями науки и техники. Но вместе с этим пришли и потери. Единый и цельный мир вдруг распался, человек был изъят из него. Космос жил сам по себе, подчиняясь законам физики, заведенного автомата, судьба которого в целом predetermined. Человек остался сам по себе: с духовным миром, с его

иррациональностью и непредсказуемостью своего поведения. Первым отметил эту противоречивость Эммануил Кант

- противоречие между жесткой регламентацией мира физики и ничем не ограниченным полетом духовности. Эпоха Просвещения довершила эту разобщенность. К началу XIX в. единство миропонимания осталось лишь в религиозных учениях.

Создание эволюционной теории Ч. Дарвина было революцией в естествознании, в биологию пришли идеи развития и движения. Но в самой теории не было синтезирующего начала. Эволюция живого вещества с усложнением организации и ростом разнообразия нарушала второй закон термодинамики, согласно которому тенденции в развивающихся замкнутых системах проявляются в росте энтропии. Отдельно развиваются точные науки, естественные (биология) и общественные, как будто каждая из этих трех сфер нашего мира существует сама по себе и, во всяком случае, подчиняется собственным законам.

В России во второй половине XIX в. возникает своеобразное умонастроение, называемое теперь русским космизмом. Это течение в философии представлено целым рядом блестящих умов, таких как В. И. Киреевский, Вл. Соловьев, Н. Федоров, П. Флоренский, Н. О. Лосский, а в литературе – Л. Н. Толстой, Ф. А. Достоевский и многие другие. Это не было научной школой, а представляло умозаклечение русской демократической интеллигенции. Вот ее основные черты: Человек – составная часть Природы, Человека и Природу не следует противопоставлять друг другу, их следует рассматривать в единстве; Человек и окружающая среда – это части единого, Вселенной. К течению русского космизма были близки многие естествоиспытатели (К. Циолковский, Д. Менделеев, И. Сеченов и др.).

В рамках этого течения мысли зародилось понимание неизбежности противоречий между разумом и природой, человеком и окружающей средой. И вместе с этим пришло понимание ответственности разума за отыскание путей его разрешения и того, что эти противоречия могут однажды привести человечество к катастрофе. Возникли идеи совершенствования нравственного начала, создания некоего нового мирового правопорядка. Новый правопорядок и новая моральная основа человеческого общества – необходимые условия дальнейшего развития цивилизации, всего человеческого рода. Сейчас подобное эмоциональное восприятие цивилизации и урбанизации, предчувствие надвигающегося морального кризиса, характерное для космистов, превращаются в реальность. Сочинение Н. Федорова "Философия общего дела" можно рассматривать как идейный источник современной системы взглядов о коэволюции общества и природы: "покорение природы" приближает конец существования человека, будущность может быть обеспечена лишь на основе вмешательства в естественный ход природных и общественных процессов.

Космисты полагали, что мысль и сознание – такая же принадлежность природы, как и звезды, галактика, микробы. Эта цельность их восприятия оказала влияние на развитие русской естественнонаучной мысли. Д. И. Менделеев создает периодическую таблицу химических элементов, опередив знания о строении атома. И. И. Сеченов высказывается за изучение человека в единстве его плоти, духа и окружающей среды, опередив на десятилетия развитие физиологии. В учении о почвах В. В. Докучаева почвы – это та основа, что связывает в единое целое всю биосферу, что в полной мере не осознано сегодня даже специалистами. По К. Э. Циолковскому, "мысль – фактор эволюции Космоса". Он был убежден, что человечество обязательно выйдет за пределы Земли и начнет расселяться в Космосе.

1.3. Космологический смысл учения В.И. Вернадского

Владимир Иванович Вернадский родился в 1863 г. и после окончания университета занялся минералогией и геохимией. Изучение эволюции земной коры привело его к проблемам изучения роли живого вещества в эволюции земной оболочки и биосферы. В отличие от большинства геологов Вернадский видел связь минералов и кристаллов с жизнью земной коры, атмосферы, природных вод. Он рассматривал минералы как динамичные подвижные структуры, подвластные времени. Поэтому он не мог не отметить роль жизни на Земле: "Органический мир как целое является тем своеобразным фактором, который разрушает минеральные тела Земли и использует их энергию". В конце XIX в., читая курс минералогии в Московском университете, Вернадский говорил о круговоротах некоторых химических элементов

и подчеркивал, что Солнце поддерживает через растения эти круговороты. За два последующих десятилетия многие ученые подошли вплотную к учению о геологической роли живого вещества и о биосфере. Была опубликована книга американского океанолога Д. Меррея, содержащая краткое, но емкое описание биосферы. Известный русский геолог-географ И. Д. Лукашевич отстаивал идею геологической вечности жизни. А. Е. Ферсман писал о колоссальной и интенсивной химической жизни Земли. Французский ученый В. А. Анри отмечал, что жизнь есть не что иное, как постоянное задержание и накопление химической и лучистой энергии. Но целостное учение о биосфере создано лишь В.И. Вернадским.

Вернадский ввел понятие живого вещества – совокупности всех организмов. Он начал изучать живую природу так же, как минералы и горные породы. Говорят, чтобы оценить нечто, надо это потерять. По этому принципу Вернадский предположил вариант отсутствия жизни на планете: "Лик Земли стал бы также неизменен и химически инертен, как является

неподвижным лик Луны, как инертны осколки не-бесных светил ... и проникающая небесные пространства космическая пыль".

Вернадский первым стал исследовать жизнь как своеобразное живое вещество, характеризующееся весом, химическим составом, энергией и геохимической активностью. Форма организмов в миграции элементов земной коры почти совершенно ступеньвается, проявляется вещество организмов, движение его молекул, его энергия. "Живое вещество охватывает и перестраивает все химические процессы биосферы, действенная его энергия по сравнению с энергией косного вещества в историческом времени огромна. Живое вещество есть самая мощная геологическая сила биосферы, растущая с ходом времени. Оно не случайно и независимо от нее в ней живет, но есть проявление физико-химической организованности биосферы". Он подчеркивал, что за геологическую историю организмы осваивали новые области планеты, приспосабливаясь к многообразным природным условиям и участвуя в их изменении.

Он был одним из первых, кто понял, что весь лик Земли, ее ландшафты, химизм океана, структура атмосферы – это порождение жизни. В книге "Биогеохимия" он рассмотрел эволюцию биосферы с момента ее возникновения и до настоящего времени. Вернадский специально не занимался проблемой возникновения жизни, взял это как эмпирический факт. Считал, что жизнь имеет достаточно древнее происхождение, соизмеримое с возрастом земной коры.

Вернадский полагал жизнь космическим явлением, естественным этапом развития материи: "Жизнь является не случайным явлением в мировой эволюции, но тесно с ним связанным следствием". Он первым из ученых понял космическое значение факта возникновения жизни на Земле и начал систематическое исследование ее влияния на развитие планеты, представляя жизнь "буфером" между космосом и "косным", т.е. неживым веществом Земли, способным использовать космическую энергию для преобразования планетарного вещества. Жизнь становится катализатором процесса развития планеты. Пленка жизни, возникшая на поверхности планеты, многократно ускоряла все процессы ее эволюции за счет способности поглощать и утилизировать энергию космоса, прежде всего Солнца, и трансформировать с ее помощью не-живое вещество. Сравнение ровесниц Земли и Луны наглядно демонстрирует эффективность живого вещества как катализатора мирового процесса развития.

Таким образом, по Вернадскому, наша планета и космос представляются ныне как единая система, в которой жизнь, живое вещество связывают в единое целое процессы, протекающие на Земле, с процессами

космического происхождения. В течение всей истории Земли количество живого вещества согласно оценкам Вернадского было практически постоянным. За счет энергии Солнца возникали так называемые геохимические циклы, или круговорот веществ в природе, в который вовлекались все новые и новые массы первичной материи. Начали возникать толщи осадочных пород, которые были преобразованы затем в результате геологических и геохимических процессов.

Эта грандиозная картина общепланетарного развития включала в себя и появление человека – носителя разума, который еще раз многократно ускорил все процессы, протекающие на планете. Породив человека, природа избрала еще один могучий катализатор мирового процесса развития. Вернадский дал ответ на вопрос о месте человека в этой картине общего планетарного развития.



В. И. Вернадский (1863-1945)

Человек, заселяя биосферу, преобразует ее облик. Вернадский сформулировал три вывода о месте человека в биосфере:

1. "Человек, как он наблюдается в природе, как и все живые организмы, как всякое живое вещество, есть определенная функция био-сферы, в определенном ее пространстве-времени".

2. Человек во всех его проявлениях составляет закономерную часть строения биосферы.

3. "Взрыв" научной мысли в XX столетии подготовлен всем прошлым биосферы и имеет глубочайшие корни в ее строении. Цивилизация "культурного человечества" – поскольку она является формой организации новой геологической силы, создавшейся в биосфере, – не может прерваться и уничтожиться, так как это есть большое природное явление, отвечающее исторически, вернее, геологически, сложившейся организованности биосферы".

Вернадский был убежден, что история человечества не есть что-то случайное и она неразрывно связана с развитием биосферы.

Уже в первые годы XX в. он начал говорить о том, что воздействие человека на окружающую природу растет столь быстро, что скоро он превратится в основную геологообразующую силу. И, как следствие, он необходимо должен будет взять на себя ответственность за будущее развитие природы. Развитие окружающей среды и общества сделаются неразрывными. Биосфера перейдет однажды в сферу разума

– в ноосферу. Произойдет великое объединение, в результате которого развитие планеты сделается направленным – направляемым силой Разума.

Идеи В. И. Вернадского, существенно обогатившие представление о сущности жизни, не получили должной оценки в 1920-1930-е гг. Более того, ряд философов (Деборин, Максимов, Новогрудский) выступили с резкой критикой биогеохимических работ Вернадского, обвиняя его в создании какой-то специфической формы витализма, названной ими геохимическим витализмом. Они объявили их несоответствующими материализму.

Тема 2

УЧЕНИЕ В.И.ВЕРНАДСКОГО О БИОСФЕРЕ

2.1. Процессы образования и разложения живого вещества

и их суммарный геологический и геохимический эффекты

В учении о биосфере сливаются воедино науки о Земле, о жизни и о космосе. Наиболее полная и глубокая концепция биосферы принадлежит Вернадскому. Последующие разработки касаются преимущественно частных биологических и экологических проблем. До сих пор часть ученых продолжает трактовать биосферу как совокупность всех живых организмов, а ведь в учении о биосфере речь идет о той части нашей планеты, которая пронизана солнечными лучами и жизнью. Биосфера определяет изменчивый и прекрасный облик Земли. Мы всецело принадлежим биосфере – и телом, и духовной жизнью, прошлым и будущим, став ее органом самопознания и преобразования.

Вернадский первым понял это. Но были и предшественники. В монографии "Биосфера" он упомянул имя великого французского натуралиста Ж.-Б. Ламарка (а также Окена и Стеффенса) как одного из натуралистов-философов начала XIX в., высказавшего мысль о большой геологической значимости жизнедеятельности организмов. Двадцать лет спустя в статье, посвященной ноосфере (1945), Вернадский писал, что понятие "биосфера" (область жизни) "введено было в биологию Ламарком, а в геологию – Э. Зюссом..." Во времена Ламарка этот термин употреблялся лишь в смысле "сферический организм", правда, Ламарку принадлежат замечательные высказывания о геологической роли живых организмов, предвосхитившие некоторые положения учения о биосфере. Однако войти в биологию это учение не смогло. Знаменитый австрийский ученый Э. Зюсс ввел в научный оборот многие термины, в том числе термин "биосфера", но о сущности биосферы он почти ничего не написал. По-видимому, он отождествлял биосферу с "пространственно ограниченной совокупностью организмов". О биосфере, как оболочке планеты, он и его последователи говорили вскользь, перечисляя сферы Земли.

Первыми услышали начала учения о биосфере студенты Сорбонны (Франция), которым Вернадский читал лекции по геохимии в 1923-1924 гг. Эти лекции вдохновили французских ученых Т. Шардена и Э. Леруа на глубокие раздумья о сущности человека. Леруа вскоре написал научно-философские работы о ноосфере (сфере разума), оставив на втором месте идеи о биосфере.

В начале XX в. биосфера отождествлялась с пленкой жизни и поэтому ускользала от глобальных взглядов геологов и географов ввиду своей ничтожности, малости по сравнению с величественными атмосферой, гидросферой, земной корой и глубокими горизонтами планеты. Идеи Вернадского о живом веществе и биосфере быстро нашли отклик в узком кругу специалистов, но общественный резонанс опоздал без малого на полвека. Рассмотрим, в чем заключается сущность учения Вернадского о биосфере.

2.1.1. Типы вещества в биосфере

В книге "Химическое строение биосферы Земли и ее окружения" В.И. Вернадский рассмотрел типы вещества, слагающие биосферу:

"вещество ее состоит из 7 глубоко разнородных природных частей, геологически не случайных. Во-первых, из совокупности живых организмов, живого вещества, рассеянного в миллиардах особей, непрерывно умирающих и рождающихся, обладающих колоссальной действенной энергией (биогеохимической энергией) и являющихся могучей геологической силой...";

во-вторых, "... биогенное вещество, источник чрезвычайно мощной потенциальной энергии (каменный уголь, битумы, известняки, нефть и т. д.). Живые организмы в нем после его образования геологически малоактивны";

в-третьих, "... вещество, образуемое процессами, в которых живое вещество не участвует: косное вещество, твердое, жидкое, газообраз-

ное..."; "четвертая часть – это биокосное вещество, которое создается

одновременно живыми организмами и косными процессами, представляя динамические равновесные системы тех и других. Таковы вся океаническая и почти вся другая вода биосферы, нефть, почва, кора выветривания и т. д. Организмы играют в них ведущую роль ...";

в-пятых, "вещество, находящееся в радиоактивном распаде ..."; в-шестых, "... все вещество биосферы... проникнуто шестой фор-

мой вещества – рассеянными атомами, которые непрерывно создаются из всякого рода земного вещества под влиянием космических излучений ..." (современная наука считает, что химические элементы не могут находиться в земной коре в атомарном состоянии, они образуют те или иные соединения);

в седьмых, "... вещество космического происхождения..." (Вернадский, 1987. С. 51-52).

2.1.2. Биогеохимические принципы

Живое вещество, по Вернадскому, есть совокупность живых организмов. Биогенная миграция атомов – это миграция, связанная с деятельностью живых организмов. Для понимания той работы, которую совершает живое вещество на планете, важны три положения, которые Вернадский назвал "биогеохимическими принципами":

1. "Биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному своему проявлению" (Вернадский, 1987. С. 262).

Первый принцип тесно связан со способностью живого вещества неограниченно размножаться в оптимальных условиях. Следствием этого и является максимальное проявление биогенной миграции атомов в биосфере. Одно из проявлений геологической активности живого вещества – скорость размножения организмов (табл. 2). В начале XIX в. К. Эренберг дал картину поразительной силы воспроизведения одноклеточных диатомовых водорослей. Одна диатомея, если не встретит препятствий, за восемь дней может образовать массу материи, равную объему Земли, а в течение следующего дня удвоить эту массу. Бактерия холеры способна теоретически за тридцать часов покрыть сплошной пленкой всю поверхность планеты. Инфузория туфелька может за пять лет выработать протоплазму, по объему в десят-ки тысяч раз превышающую нашу планету.

Идеальная геохимическая активность не реализуется прежде всего из-за ограниченности плацдарма жизни, заполненного живым веществом с определенной плотностью, а также потока солнечных лучей, достигающих земной поверхности. По подсчетам Вернадского в каждый момент на Земле существует около 10^{20} - 10^{21} г живого вещества, которое "вечно разрушается и создается главным образом, не ростом, а размножением. Поколения создаются в промежутки от десятков минут до сотен лет. Ими обновляется вещество, охваченное жизнью. То, что находится каждую минуту в наличности, составляет ничтожную долю созданного в году, так как колоссальные количества создаются и разрушаются даже в течение суток" (Вернадский, 1967. С. 261). Это динамическое равновесие поддерживается трудно охватываемым мыслью количеством живого вещества, созданного за несколько миллиардов лет истории планеты. "Все вещество биосферы может, без сомнения, в течение краткого момента геологического времени пройти через живые организмы" (Вернадский, 1987. С. 274).

2. "Эволюция видов в ходе геологического времени, приводящая к созданию форм жизни устойчивых в биосфере, идет в направлении, увеличивающем биогенную миграцию атомов биосферы" (Вернадский,

1987. С. 262). Вторая формулировка этого принципа такова: "При эволюции видов выживают те организмы, которые своею жизнью увеличивают биогенную геохимическую энергию..." (Вернадский, 1980. С. 260).

Второй принцип затрагивает проблему направленности эволюции организмов. Преимущества в ходе эволюции получают те организмы, которые приобрели способность усваивать новые формы энергии или "научились" полнее использовать химическую энергию, заключенную в других организмах. Эволюционный процесс идет с различной скоростью для отдельных видов. Наряду с изменчивыми организмами, приспособляющимися к новым условиям среды, существуют организмы, которые морфологически и химически не меняются. Однако эти организмы, не меняющие биогенную миграцию атомов, составляют небольшую часть. Уменьшению биогенной миграции препятствует борьба за существование. Так, паразиты усиливают свое положение в борьбе за существование за счет увеличения энергии размножения на фоне упрощения морфологической структуры.

Обосновать данный принцип материалами биологических исследований в свое время Вернадский не мог в достаточной степени. Позднее В.А. Ковда показал, что зольность растений возрастает от представителей древних таксонов к молодым. По А.П. Хохрякову, у высших растений от примитивных видов к цветковым происходит интенсификация смен органов в ходе индивидуального развития: у лепидодендронов менялась часть листьев, у папоротникообразных – тоже листья, но больше в единицу времени, у примитивных голосеменных – саговниковых – только листья без оснований, у хвойных – периодически ветви и кора, у цветковых идет переход от многолетних древесных форм к однолетним. Эти переходы усиливают биогенную миграцию атомов в биосфере.

3. "... в течение всего геологического времени, с криптозооя, заселение планеты должно было быть максимально возможное для всего живого вещества, которое тогда существовало" (Вернадский, 1987. С. 262).

Таблица 2

Скорость размножения организмов (по В. И. Вернадскому)

Организмы	Δ	A
<i>Бактерии</i>		$2,78 \cdot 10^{18}$

Bacterium coli comm.	61,27	
Vibrio cholerae asiat.	61,02-62,47	$2,2 \cdot 10^{18} - 6,4 \cdot 10^{18}$
Bacillus ramosus	53,33	$1,16 \cdot 10^{16}$
<i>Диатомеи</i>		
Nitzschia putrida	4,8	26,8
Среднее для морских диатомей (планктон)	0,5	0,41
<i>Piridinae</i>		
Среднее для Ceratium (планктон)	0,25	0,19
<i>Phytomonadina</i>		
Eudorina elegans	0,79	0,72
<i>Heliozoa</i>		
Actinophrys	1,25	1.38
<i>Инфузории</i>		
Paramecium aurelia	1,78	2.32
P. caudata	1.09	2.12
Leucophrys patula	7,0	127,0
<i>Dicotyledonae</i>		
Trifolium repens	0,016	0,0088
Solanum nigrum	0.04	0,029
Пшеница (среднее для Франции)	0,019	0,013
<i>Mammalia</i>		
Sus scrofa	$0,9-2,25 \cdot 10^{-3}$	$0,5-61,5 \cdot 10^{-3}$

S. domestica	$9,7-10,6 \cdot 10^{-3}$	$6,7-7 \cdot 10^{-3}$
Mus decumanus	$9,6 \text{ (мин)} \cdot 10^{-3}$	$7,7 \cdot 10^{-3}$
Elephas indicus	$0,096-0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,067-0,07 \cdot 10^{-3}$

Примечание. Δ – коэффициент, характеризующий темп размножения (для многих протистов Δ показывает количество поколений в сутки); A – суточный прирост делимого при размножении.

Третий принцип также связан с "давлением" жизни – безостановочным захватом живым веществом любой территории, где возможно существование. В противоположность глубоко укоренившимся представлениям о первичности организма и производности всех остальных форм существования живого Вернадский обосновал идею о том, что первичная биосфера с самого начала была сложной неоднородной системой. В ее состав входили не только первичные виды, но и первичные биоценозы, так как ни один вид не мог бы самостоятельно исполнять основные геохимические функции биосферы. Одновременно образуется несколько форм жизни, которая изначально могла функционировать лишь в форме биологического круговорота веществ и потоков трансформации энергии.

По наиболее распространенной точке зрения экспансия жизни на планете происходила медленно: наземные растения в карбоне и перми были распространены преимущественно на болотистых приморских равнинах, а засухоустойчивая растительность сформировалась лишь в кайнозое. Одна из научных гипотез утверждает, что развитый растительный покров на континентах доказывается не только многочисленными находками в палеозойских континентальных отложениях, но и тем, что условия осадконакопления принципиально не отличаются от современных. Происходила ли прогрессирующая экспансия жизни в ходе геологической истории? И современные данные не позволяют однозначно ответить на этот вопрос.

2.1.3. Основные функции живого вещества в биосфере

В.И. Вернадский (1980) выделил 9 биогеохимических функций биосферы:

газовую – все газы атмосферы создаются и изменяются био-генным путем;

кислородную – образование свободного кислорода;

окислительную – окисление бедных кислородом соединений, имеет место для элементов Fe, Mn, S, Cu, N, C, H;

кальциевую – выделение кальция в виде чистых солей;

восстановительную – создание сульфидов металлов и сероводорода;

концентрационную – скопление элементов рассеянных в окружающей среде;

функцию разрушения органических соединений – разложение их с выделением воды, углекислого газа и азота;

функцию восстановительного разложения образование сероводорода, метана, водорода и т. п.;

функцию метаболизма и дыхания – поглощение кислорода и воды, выделение углекислого газа с миграцией органических элементов.

Вернадский отмечал, что все без исключения геохимические функции живого вещества в биосфере могут выполняться простейшими одноклеточными организмами. В то же время все геохимические функции не может выполнять одна форма жизни; в ходе геологического времени происходила смена разных организмов, замещающих друг друга в исполнении функции без изменения самой функции.

А.В. Лапо (1979, 1987), объединив некоторые биогеохимические функции, следующим образом трактует функции живого вещества в современной биосфере.

Энергетическая функция проявляется в ассимиляции энергии – главным образом солнечной. С энергетической точки зрения образование живого вещества – это процесс поглощения солнечной энергии, которая в потенциальной форме аккумулируется в свободном кислороде и органических соединениях. Минерализация органических соединений как внутри живых организмов, так и во внешней среде сопровождается освобождением энергии, поглощенной при фотосинтезе. Энергия освобождается не только в тепловой, но и химической форме, носителями которой служат природные воды: обогащаясь CO_2 , H_2S и другими продуктами минерализации, воды становятся химически высокоактивными, преобразуя компоненты неживой природы. Так, благодаря автотрофам солнечная энергия не просто отражается от поверхности, а глубоко проникает в глубь земной коры.

Концентрационная функция связана с избирательным поглощением веществ из внешней среды. Это может быть концентрация в ионной форме из истинных растворов (так строят скелет морские беспозвоночные) или из коллоидных растворов фильтрующими организмами. Организмы массами извлекают из ненасыщенных растворов углекислые соли кальция, магния и стронция, кремнезем, фосфаты, йод, фтор и др. Водоросли концентрируют элементы, содержащиеся в среде в концентрациях не менее 10 мг/л, более энергично действуют бактерии. Животные потребляют их из живого вещества автотрофов, концентрация многих элементов в них выше, чем в автотрофах. Некоторые элементы сильно концентрируются в продуктах выделения животных (содержание урана в гуано побережья Перу в 10 тыс. раз выше, чем в морской воде). Некоторые элементы концентрируются очень немногими организмами, но в значительных количествах. Так, радиоларии строят свой скелет из аморфного кремнезема, но одно семейство

– акантарии – предпочитают использовать стронций. Редкий элемент ванадий входит в состав крови примитивных хордовых – асцидий (окиси ванадия до 15% золь), их культивируют в Японии. В Новой Зеландии нашли кустарник, в золе листьев которого содержится до 1% никеля.

Для оценки степени концентрации элементов живыми организмами применяют коэффициент биологического поглощения. Если разделить содержание элементов в золе наземных растений на их процент в почве, то полученные коэффициенты составят для кальция, натрия, калия, магния, стронция, цинка, бора, селена единицы и десятки, а для фосфора, серы, хлора, йода и брома десятки и сотни. У морских организмов отношение содержания металлов на сухой вес к их содержанию в морской воде измеряется десятками и сотнями тысяч (для титана, железа, марганца, никеля и кобальта), а иногда и превышают миллион (хром). В целом говорят о биофильности элементов биосферы: отношения их среднего содержания в живом веществе к содержанию данного элемента в литосфере. Наибольшей биофильностью характеризуется углерод, менее биофильны азот и водород.

Концентрация химических элементов живым веществом может проявляться в виде морфологически оформленных минеральных образований и в виде органоминеральных соединений. Минеральные образования являются продуктами секреции специальных желез, минеральный скелет живых организмов может быть карбонатный, фосфатный, сульфатный, образованный гидратами, гидроокисями и силикатами. Скелет животных может быть внутренним и наружным. Минеральная составляющая высших растений представлена фитолитами – продуктами

выделения в виде кристаллов или округлых включений, состоящих из кремнезема или щавелевокислого кальция. Некоторые многоклеточные водоросли предпочитают подпорки из карбоната кальция. У некоторых животных скелет может быть построен из двух минералов, а иногда в их теле представлен и какой-нибудь третий минерал. Например, у некоторых моллюсков раковины сложены из арагонита и кальцита, а жевательный аппарат инкрустирован кристаллами гетита – гидрата окиси железа. Х.А. Ловенштам составил таблицу, иллюстрирующую распределение минералов в составе разнородного живого вещества (табл. 3). Оказалось, что среди крупных таксонов организмов наибольшее количество минералов образуют многоклеточные животные: моллюски (20 минералов) и позвоночные (17). Большинство минеральных образований плохо растворимо в морской воде и после отмирания организмов накапливается в осадках. Органоминеральные образования быстро разлагаются и вновь включаются в биологический круговорот.

Деструктивная функция живого вещества – деструкция неживого вещества и его включение в биологический круговорот. Биогенное органическое вещество разлагается до простых неорганических соединений: углекислоты, воды, сероводорода, метана, аммиака и т. д., занимаются этим сапрофиты. Разлагается и неорганическое вещество. Например, "сверлящие" цианобактерии и некоторые водоросли селятся

Минералы, образуемые живыми организмами

Химический состав	Минералы	Основные катионы	Прокариоты	Царства организмов (по							
				Протисты							
	Кальцит	Ca	O	O	O			O			

Кар- бо- на- ты	Арагонит	Ca	O			?	O	O	O		
	Ватерит	Ca						O			
	Моногидрокальцит	Ca	O								
	Протодоломит	CaMg									
	Аморфный карбонат	Ca									
	Франколит	Ca									
	Даллит	Ca	O				O				
	Ca ₃ Mg ₃ (PO ₄) ₄	CaMg									
Фос- фаты	Шунтит	MgCa									
	Брушит	Ca									
	Фосфат октакальц.	Ca									
	Пирофосфат кальц.	Ca									
Аморфный предшеств. даллита		Ca									
Аморфный предшеств. бруши- та		Ca									
Аморфный Fe-Ca-фосфат		FeCa									
Галиды	Флюорит	Ca									
Аморфный предшеств. флюо- рита		Ca									
Ок- сали- ты	Узвеллит	Ca							?	O	
	Веделлит	Ca									
	Глушинскит	Mg									
Цитра-	Цитрат кальция	Ca							O	O	

ты	Гипс	Ca									О	
Сульфаты	Целестин	Sr										
	Барий	Ba						О			О	
Силикаты	Опал	Si		О		О	?					О
	Магнетит	Fe	О					?	?			
Окислы железа	Гетит	Fe										
	Лепидокраkit	Fe	?									
	Ферригидрит	Fe	О									
Аморфный	"ферригидрит"	Fe	О									

		Царства организмов (по)									
катионы	FeTi	Протисты									
		Окси-марганца	Тодорокит	Mn	O						
слы		Бирнессит	Mn	O							
марганца		Пирит	Fe	O							
		Гидротроилит	Fe	O							
Сульфиды		Сфалерит	Zn	O							
		Вюрцит	Zn	O							
		Галенит		O							
Типы											

L. mollegetata
 гларолуа
 а
 Гнаерлуа

на карбонатных породах, возвращая в биологический круговорот кальция, магний, фосфор. Коралловые рифы разгрызаются некоторыми рыбами и морскими ежами, которые поглощают карбонаты кальция, а извергают известковый ил. Алумосиликаты разлагаются при химическом воздействии: цианобактерии, бактерии, грибы, лишайники воздействуют на горные породы растворами угольной, азотной, серной кислот (с концентрацией до 10%). Корни елей на бедных почвах также выделяют сильные кислоты. Химически разлагаются в биосфере каолин, нефелин, серпентин, биотит, мусковит, апатит и многие другие

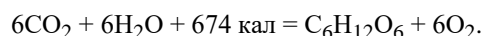
минералы. Разлагая минералы, организмы избирательно поглощают из них макро- и микроэлементы. Так, слоновая трава в африканских саваннах извлекает с 1 га за год 250 кг кремния и 80 кг щелочных и щелочноземельных элементов, а растительность джунглей – даже 8 т кремния. Процесс вовлечения химических элементов в биологический круговорот идет повсеместно, бактерии действуют в таких токсичных зонах (с точки зрения человека), как зоны окисления сульфидных месторождений меди, сурьмы, молибдена, бактерии окисляют даже золото.

Величина pH изменяется от 0 до 14. Для дистиллированной воды pH=7. Природные воды с pH=6,95-7,3 считают нейтральными, ниже – кислые, выше – щелочные.

Окислительно-восстановительный потенциал – Eh служит мерой

ее окислительно-восстановительной способности, измеряется в В или мВ. При положительных значениях Eh среда является окислительной, при отрицательных – восстановительной (в морских илах Eh колеблется от 600 до – 350 мВ).

Фотосинтез в биосфере можно представить в виде (упрощенном)



Автотрофы непрерывно производят кислород, поэтому в поверхностной части биосферы существует окислительная обстановка, содержание углекислого газа поддерживается на низком уровне за счет интенсивного поглощения живым веществом. Однако при фотосинтезе образуются также и сильные восстановители – органические вещества. Биогенное вещество, образующееся после отмирания живого, попадая на дно водоемов, в болотные почвы, разлагается, и в условиях недостатка кислорода формируется резко восстановительная среда. При разных типах брожения образуются газы разного состава. Так, при разложении органики в анаэробных условиях – водород, аммиак, органические кислоты и анионы SO_4 , PO_4 , NO_3 .

Основные газы атмосферы образуются биогенно: кислород и азот, кроме того, доказано, что 50% водорода возникает в результате деятельности живых организмов. Окись углерода также биогенна, в водах океана ее содержание в сотни раз превышает концентрацию, равновесную с атмосферой. Роль растений в атмосфере известна уже давно, а вот значение бактерий недавно. Бактерии формируют состав почвенного воздуха, а приземный слой атмосферы находится с ним в равновесии. Именно бактерии формируют промышленные скопления полезных ископаемых.

Через биогенное вещество меняется состав природных вод. Продукты разложения степных трав образуют растворы нейтральной и слабощелочной реакции, полыни и опад саксаула – щелочной, а масса отмершей хвои, вереска, лишайников и сфагнума – кислой. Кислая реакция вод связана с растворением биогенных CO_2 или гумусовых кислот. Фотосинтез снижает парциальное давление CO_2 и повышает pH. Так, при цветении пресноводных водоемов хлорококковыми водорослями или цианобактериями pH повышается до 9-10 и выше. Организмы, поглощающие из морской воды карбонаты и кремнезем, не только изменяют состав, но и изменяют кислотность за счет содержания щелочей. В донных осадках физико-химическая обстановка определяется наличием органического вещества: восстановительная создается при разложении органики сульфатвосстанавливающими бактериями с образованием сероводорода (при наличии сульфатов). Если не удаляется сероводород идет самоотравление системы (сероводородная зона Черного моря).

Наибольшее средообразующее влияние оказывают микроорганизмы, они изменяют среду в соответствии с потребностями. В сильнокислой среде выделяют нейтральные продукты, в щелочной – кислоты. По мнению некоторых ученых, эволюция микроорганизмов шла по пути развития способности изменять среду, а более высокоорганизованные совершенствовались в обособлении от внешней среды. Сульфатвосстанавливающие и тионовые бактерии имеют важнейшее значение в биосфере: первые превращают сульфат-ион в сероводород, вторые обратно – до серной кислоты. Драматическая ситуация возникла при строительстве Киевского метрополитена. Поступление кислорода в палеогеновые пески привело к активизации бактерий: образовалась серная кислота, и pH стал меньше 1. Массивные болты железобетонных конструкций за 1-2 месяца разрушались наполовину. Пришлось отказаться от закачки сжатого воздуха.

Недавно установлено, что живое вещество изменяет не только химические, но и физические параметры среды, ее термические, электрические и механические характеристики. Существует аргументированное мнение, что "бабье лето" вызвано осенним пиком деятельности сапрофитов (при разложении выделяется много тепла). В Черном и Белом морях обнаружен "биоэлектрический эффект": фитопланктон создает электрическое поле с отрицательным зарядом, а скопление отмершего планктона – с положительным зарядом.

Наука получает все новые данные по средообразующей роли живого, при этом растения воздействуют на газовый состав атмосферы и

ионный состав океанической воды, а животные почти не влияют на атмосферу, но изменяют катионный состав морской воды.

Пятая основная функция живого вещества – *транспортная*. Не-живое вещество в биосфере перемещается под действием силы тяжести, исключительно сверху вниз. Живое вещество определяет обратное движение снизу вверх, против уклона местности, из океана на сушу. Растения перемещают растворы из подземных органов в надземные. Главную роль в горизонтальном перемещении веществ играют птицы, крылатые насекомые, также стаи морских рыб, поднимающихся на нерест вверх по рекам. Перенос вещества при этом сопоставим с действием смерчей и ураганов.

Воздавая должное памяти основоположника учения о биосфере, геохимик А.И. Перельман (1989) предложил называть "законом Вернадского" следующее положение:

"Миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере в целом осуществляется или при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция), или же она протекает в среде, геохимические особенности которой (O_2 , CO_2 , H_2S и т.д.) преимущественно обусловлены живым веществом как тем, которое в настоящее время населяет данную систему, так и тем, которое действовало на Земле в течение всей геологической истории".

2.2. Эволюция биосферы

2.2.1. Взаимодействие эволюции видов и эволюции биосферы

О возникновении биосферы. В первые годы деятельности Вернадский придерживался гипотезы о вечном существовании жизни в космосе и о появлении жизни на нашей планете в результате заноса микроорганизмов или спор из космического пространства (гипотезы Г.Рихтера и С. Аррениуса). Абиогенез казался невозможным из-за специфики живого вещества перед косным. После гипотезы А.И. Опарина о закономерном возникновении жизни в условиях восстановительной среды Вернадский, признавая возможность абиогенного происхождения жизни, считал правильным говорить о возникновении биосферы: "Вне биосферы мы жизнь научно не знаем и проявлений ее научно не видим... Говоря о появлении на нашей планете жизни, мы в действительности говорим только об образовании на ней биосферы" (Вернадский, 1980. С. 278, 287).

Одноклеточные организмы способны выполнить все биогеохимические функции биосферы, возможно, именно таковым было появление жизни на планете. В биосфере всегда существовало разнородное живое вещество, и жизнь всегда исполняла разнородные биогеохимические функции. Он считал недопустимым рассматривать возникновение жизни как абиогенез однообразных организмов, появление должно быть представлено "совокупностью многих видов, морфологически принадлежащих к разным резко разделенным классам организмов..." (Вернадский, 1980. С. 290). Если же жизнь возникла с одной простейшей формы, ее дробление на формы, выполняющие разные геохимические функции, должно было произойти чрезвычайно быстро – вне эволюционного порядка, поскольку эволюционный процесс всегда уже идет внутри биосферы. Комплекс одноклеточных организмов обладает чрезвычайной скоростью размножения: в течение немногих дней жизнь могла охватить всю поверхность планеты, образовать биосферу и дать начало процессу эволюции живых организмов.

Среди организмов нет форм, способных одновременно выполнять все функции биосферы. Мир живых организмов представляет собой исторически сложившуюся форму организации биогенных потоков вещества и

энергии. "Необходимо считаться с особенностью геохимических функций организмов и механизма биосферы, вызывающих сложность жизни, существование неразрывного комплекса организмов, распадающихся на многочисленные морфологически различные формы. В биосфере всегда наблюдалось, говоря терминами геохимии, разнородное живое вещество и жизнь всегда исполняла одновременно разнородные биогеохимические функции". Первичная жизнь могла существовать в форме комплекса "многих видов, морфологически принадлежащих к разным, резко разделенным классам организмов".

Долгое время эти оригинальные идеи ученого оставались не востребованными. В свете современных знаний становится ясным, что жизнь – это свойство, присущее экосистеме в целом, а не отдельным организмам или изолированным скоплениям молекулярных соединений. Отсюда следует, что в раннем археозое на основе высокомолекулярных белковых и нуклеотидных соединений возникали не единицы,

а миллионы открытых систем, способных более или менее продолжительное время находиться в состоянии динамического равновесия. Но лишь немногие из них достигали той степени внутренней слаженности и сбалансированности процессов метаболизма, которые были необходимы для их самосохранения и воспроизведения в условиях зарождающейся биосферы.

Предположение Вернадского о практически одновременном (в масштабе геологического времени) формировании планеты и жизни завоевывают популярность и среди геологов. На смену взглядам о длительном, охватывающем несколько миллиардов лет периоде биопоза приходят идеи о том, что предбиологическая эволюция шла очень быстро. Ее основные достижения (абиогенный синтез органических соединений, формирование матричного синтеза органических молекул, образование жизни вирусоидного типа, обладающей точным аппаратом самовоспроизведения макромолекулярных комплексов РНК

и ДНК, развитие прокариотов) заняли гораздо меньше времени, чем вся последующая эволюция жизни.

Общие представления об эволюции биосферы. Строение и функции биосферы определяются особенностями Земли и Космоса. На уровне живого вещества и биосферы идет постоянная миграция атомов, соединяющихся в сложные молекулы и вновь рассыпающихся; атомы и молекулы переходят из атмосферы в гидросферу, в земную кору и замыкают свои круговороты, возвращаясь в первоначальную среду. Живое вещество активно регулирует геохимическую миграцию атомов. Благодаря ему за сотни миллионов лет геологической истории сохраняется стабильность биосферы и осуществляется эволюция как живых организмов, так и всей биосферы в целом. Этот вид постоянно изменчивого равновесного состояния Вернадский назвал динамическим равновесием. Биосфера развивается, самосовершенствуется, все более полно и в большем масштабе накапливает, трансформирует энергию, усложняет организацию, обогащается информацией. Источниками энергии геологических явлений являются космическая энергия, преимущественно солнечная, а также планетарная, связанная со строением и космической историей Земли, и внутренняя энергия материи – радиоактивная. Особая роль у живого вещества, активно трансформирующего солнечную энергию в химическое молекулярное движение и в сложность биологических структур.

В земной коре постоянно движутся атомы и молекулы, осуществляются разнообразные геохимические обороты, в значительной степени определяемые деятельностью живого вещества. Между смежными геосферами идет непрерывный обмен веществ и энергии, накапливаемой в биосфере и земной коре. Получается так, словно за долгую геологическую историю солнечные лучи пронизывают всю земную кору в среднем до 30 км (на эту глубину погружаются минералы и горные породы, рожденные на земной поверхности под влиянием живого вещества). Следовательно, геохимическая энергия жизни сказывается на

всей литосфере. Земная кора – область былых биосфер и аккумуляции солнечной энергии.

Реконструкции начальных этапов развития биосферы всегда гипотетичны. Практически известен лишь один этап – это современная, сложно дифференцированная биосфера, включающая более миллиона видов животных и растений, каждый из которых выполняет в ней различные функции: средообразующие, деструктивные, концентрационные, энергетические и транспортные. Такая биосфера могла сформироваться лишь в результате длительного развития. Еще в 1926 г. Вернадский отметил противоречие между

"эмпирическим фактом материально-энергетической устойчивости биосферы и установленным Дарвином фактом исторических преобразований живого". Обдумывая это противоречие, он сделал ряд важных выводов, имеющих большое значение для понимания эволюции биосферы. "Эволюционный процесс живых веществ непрерывно в течение всего геологического времени охватывает всю биосферу и различным образом, менее резко, но скачкообразно, на ее косных природных телах. Уже по одному этому мы можем и должны говорить об эволюционном процессе самой биосферы в целом". Он не раз отмечал, что эволюция живых организмов придала биосфере облик: "В ходе геологического времени растет мощность выявления живого вещества в биосфере, увеличивается его в ней значение и его воздействие на косное вещество биосферы". Таким образом, по Вернадскому, в ходе эволюции жизни происходили и определенные изменения в биосфере: изменялись ее биогеохимические функции, расширялась зона распространения жизни, усложнялся биологический круговорот и т.д. Он стремился найти характеристики, связывающие эволюцию мира живых организмов с общим строением

и энергетикой биосферы. Эта связь более четко проявилась в изменении геохимического строения биосферы, общей массы, продуктивности и разнообразия живых организмов, энергетики и общепланетарного биологического круговорота.

Единство процессов видообразования и эволюции биосферы. Вернадский впервые выдвинул идею об эволюции поверхностной оболочки Земли как целостном процессе взаимодействия живого вещества

и косной материи. Ведущую роль во взаимодействии отводил жизни – "великому, постоянному и непрерывному нарушителю химической косности поверхности нашей планеты" (Вернадский, 1967. С. 242). Уже в середине 1920-х гг. он выделил вид как главный носитель эволюции. В изучении эволюции считал главным установление связи "эволюции видов с механизмом биосферы, с ходом биогеохимических процессов". Существование подобной связи не вызывало у него со-

мнений, так как "основные числа, характеризующие эти процессы, являются видовыми признаками, меняющимися в процессе эволюции".

К числу таких признаков он относил общую биомассу вида, его химический состав и геохимическую энергию. Эволюцию химической и энергетической структур биосферы рассматривал как интегральный результат преобразований, происходящих на видовом уровне организации жизни. Изменение морфологического строения живых организмов, наблюдаемое в ходе эволюции, в ходе геологического времени, неизбежно приводит к изменению их химического состава. Факторы и движущие силы видообразования представляют собой ведущие источники преобразования всей биосферы, "эволюция видов переходит в эволюцию биосферы". Эволюционный процесс присущ только живому веществу. В косном веществе нет его проявлений. Исключением являются биокосные природные тела, всегда связанные с живым веществом.

В то же время он учитывал детерминирующее влияние структуры биосферы на эволюцию каждого вида: "Жизнь неразрывно связана с биосферой, и ее эволюция в значительной степени определяется ее строением".

Таким образом, Вернадский впервые выдвинул задачу синтеза основных положений эволюционной теории с созданным им учением о биосфере.

В области эволюционной теории, названной микроэволюцией, Вернадский придерживался принципов селекционизма. Но в дарвинизме он видел преимущественно учение, раскрывающее процессы видообразования, но не объясняющее движущие силы и закономерности макроэволюции.

Геохимическая трактовка вида и видообразования. Связывая эволюцию видов и биосферы, Вернадский подчеркивал необходимость изучать видообразование не только с точки зрения преобразования морфологических и физиологических признаков организмов, но и изменения их массы, элементарного состава и геохимической энергии. Благодаря начатым им работам в этом направлении было показано, что вид является морфологической системой, помноженной на геохимическую определенность. Он подчеркивал, что хотя носители геохимической энергии – организмы – дискретны, в совокупности они представляют единое целое, занимающее определенное место в геохимических и энергетических процессах биосферы.

Вернадский ввел термин "биогеохимическая энергия организмов", обозначающий эффект воздействия данного вида на окружающую среду. С повышением геохимической энергии ускоряется осуще-

ствяемая данным видом биогенная миграция атомов в биосфере и тем самым усиливается его участие в биогеохимических циклах биосферы.

Основные положения по проблеме геохимической энергии сводятся к следующему. Вырабатываемая живым веществом в биосфере энергия, сводимая к работе, связанной с движением атомов, проявляющаяся в движениях живого вещества, была названа им биогеохимической энергией. Наиболее важной формой проявления этой энергии является энергия, связанная с размножением организмов. Каждый вид имеет специфический темп размножения, который можно выразить в математическом виде. Для сравнения биогеохимической энергии разных организмов Вернадский приводил примеры скорости заселения всей планеты разными организмами. Давление жизни на окружающую среду, проявляющееся в росте и размножении организмов, есть результат превращения энергии Солнца в биогеохимическую энергию. Это движение живых организмов длится без перерыва и промедления миллиарды лет, совершая огромную геохимическую работу, является формой проникновения энергии солнечного луча в нашу планету и ее распределения по земной поверхности. Вернадский назвал еще две формы проявления биогеохимической энергии: во-первых, создание массы живого вещества и ее сохранение путем метаболизма,

а во-вторых, техническая работа человечества, руководимая его мыслью.

Необходимо различать реальный геохимический эффект вида и максимально возможное проявление его геохимической энергии при благоприятных условиях. Само развитие биосферы В.И. Вернадский связывал с постоянным противоречием между способностью организмов к быстрому размножению и ограниченностью материальных и энергетических ресурсов жизни в каждый геологический момент ее истории. Очевидно, что это противоречие разрешимо только на пути создания все более прогрессивных форм жизни, способных к завоеванию новых зон жизни, овладению новыми источниками минеральных веществ и рациональному использованию уже освоенных ресурсов.

По данным Вернадского наибольшей геохимической энергией отличаются бактерии и цианобактерии, выживаемость которых обеспечивается за счет продуцирования и расхода большого количества биомассы. Таксоны с наиболее высокой геохимической энергией в течение миллиардов лет оставались на относительно низком уровне морфологической дифференциации. По-видимому, предел в создании форм, способных к быстрому накоплению биомассы и к "мгновенному" заселению потенциально доступной зоны жизни, был достигнут еще на заре жизни. В дальнейшем главным направлением стало формиро-

вание организмов, наиболее эффективно использующих солнечную энергию для синтеза органических соединений (эволюция растительного покрова) и усложняющих циклы миграции химических элементов за счет активного переноса их в разные регионы биосферы (эволюция двигательной активности животных).

Биосферная детерминация процессов макроэволюции. Вернадский понимал эволюцию живого как непрерывный процесс приспособления к сложной совокупности абиотических и биотических факторов. Высокая эволюционная пластичность организмов, их способность адаптироваться к разнообразным по температуре, давлению, химизму средам обуславливают потенциальную возможность многообразных путей эволюции. Однако есть ограничения для экспансии живых организмов в оболочке Земли. Самое главное – это сложившаяся в биосфере система круговоротов вещества и потоков трансформации энергии, которая и определяет главные направления в эволюции живого, канализируя в какой-то мере всю эволюцию жизни.

Для понимания взаимосвязи эволюции биосферы и видообразования особое значение имели биогеохимические принципы Вернадского. По первому принципу, биогенная миграция стремится к максимальному проявлению. По второму принципу, "эволюция видов в ходе геологического времени, приводящая к созданию форм жизни, устойчивых в биосфере, идет в направлении, увеличивающем проявление биогенной миграции атомов в биосфере". Таким образом, способность организмов интенсифицировать биогенную миграцию атомов была одним из важнейших критериев действия отбора. Отнюдь не каждый вид должен эволюционировать в сторону ускорения миграции атомов. Есть формы жизни, неизменные в течение сотен миллионов лет в морфологическом и химическом отношении. В то же время сложившаяся

в биосфере система биогеохимических круговоротов препятствует возникновению форм с более низкой биогеохимической энергией. Даже в ходе регрессивной эволюции форм, перешедших к паразитизму, резко

увеличивается скорость размножения, т.е. чрезвычайно увеличивается биогенная миграция их атомов, что "усиливает их положение в борьбе за существование".

2.2.2. Основные тенденции в эволюции биосферы

По В.И. Вернадскому, возникновение жизни положило начало длительному процессу эволюции биосферы. "Благодаря эволюции ви-дов, непрерывно идущей и никогда не прекращающейся, резко меняется отражение живого вещества на окружающей среде. Благодаря этому

процесс эволюции – изменения – переносится в природные биокосные

и биогенные тела, играющие основную роль в биосфере, в почвы, в наземные и подземные воды (в моря, в озера, реки и т.д.), в угли, би-тумы, известняки, органические руды и т.п."

Рост биомассы и организованности биосферы. Вернадский был уверен, что благодаря способности к размножению в геометрической прогрессии сформировавшаяся жизнь быстро распространилась по планете, приспосабливаясь к разнообразным условиям существования. Возникает вопрос о том, менялось ли количество живого вещества в ходе развития биосферы.

Позиция Вернадского по этой проблеме была неоднозначной. С одной стороны, он считал, что общее количество живого вещества бы-ло примерно одинаковым в течение всего геологического времени. Исходя из постоянного химического облика земной коры в течение всего геологического времени, из сходства минералов различных гео-логических эпох следует, что геохимические явления не изменились заметно со времени архейской эры. Значит, средние количество и хи-мический состав живого вещества оставались приблизительно одина-ковыми. "Таким образом, количество живого вещества, по-видимому, является планетной константой со времени архейской эпохи, т.е. за все дление геологического времени" (Вернадский, 1983. С. 220). Не только количество, но и средний химический состав живого вещества должны быть неизменными, ибо каждое химическое изменение живого веще-ства должно было бы проявиться в образовании новых минералов или в увеличении и уменьшении их количества. Объем живого вещества представлялся ему определенным количеством химических элементов, пригодных для использования в биологических процессах. Химице-ское изменение, необходимо сопутствующее каждому морфологи-ческому изменению, образованию вида, расы и т.д., совершается в хими-чески неизменных рамках живого вещества. Вернадский опирался на данные того времени, что биомасса океана во много раз превышает биомассу более молодых наземных экосистем. Современные данные показывают, что ошибки при сравнении биомассы суши и океана от-личались, по меньшей мере, на три порядка величин.

С другой стороны, высказывания Вернадского о непрерывной экспансии жизни, об образовании все более сложных и продуктивных экосистем, об усложнении циклов миграции химических элементов говорят о том, что он допускал возможность увеличения биомассы в эволюции биосферы. "Область жизни, по-видимому, расширяется в геологическом времени" (Вернадский, 1967. С. 245). "... жизнь посте-

пенно, медленно приспосабливаясь, захватила биосферу и захват этот не закончился" (Вернадский, 1967. С. 297).

В качестве важнейшей тенденции в эволюции биосферы Вернад-ский выделял возрастание ее организованности, отмечал усиление ста-бильности, способности к саморегуляции и независимости от других земных оболочек. Возможно, это связано с тем, что в процессе корен-ных перестроек биосферы сохранялись прежде всего те группы орга-низмов, которые были устойчивы к воздействию астрономических и геологических факторов. Возрастание целостности и автономности элементарных компонентов в биосфере в целом способствовало и ее лучшей организованности.

Роль живого вещества в становлении и стабилизации поверхно-стных оболочек Земли. Под влиянием живых организмов и продуктов их жизнедеятельности все геологические и геохимические процессы превратились в биогеологические и биогеохимические. "На земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а потому более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом" (Вернадский, 1967. С. 241).

Решающая роль живого вещества в эволюции биосферы особенно ярко проявилась в формировании и стабилизации газового состава ат-мосферы, в превращении восстановительной обстановки на нашей планете в окислительную, в преобразовании химической и минерало-гической структуры литосферы, в детерминации химической активно-сти природных вод и общего термодинамического баланса биосферы. "Жизнь создает в окружающей ее среде условия, благоприятные для ее существования" (Вернадский, 1987. С. 47). Избирательно поглощая из окружающей среды химические элементы и их изотопы и выделяя их обратно в виде органических соединений, живое вещество создает и сохраняет, в охваченной им области, общепланетарный биологический круговорот. "Живое вещество охватывает и перестраивает все химические процессы биосферы, действенная его энергия по сравнению с энергией косного вещества огромна. Живое вещество есть самая мощная геологическая сила, растущая с ходом времени".

В.И. Вернадский писал, что "... тропосфера не есть астрономическое явление, а есть планетное явление, созданное живым веществом",

и что "... земная газовая оболочка, наш воздух, есть создание жизни". Он показал, что само соотношение основных газов атмосферы обусловлено жизнедеятельностью организмов. Регуляция газового состава осуществлялась двумя путями: первый связан с жизнедеятельностью организмов или с разложением их остатков, а второй – с процессами метаморфизации и вулканизма. Вернадский считал, что большинство

газов, выделяемых при метаморфизме горных пород и извержении вулканов, по своему происхождению биогенны, т.е. являются преобразованными продуктами жизнедеятельности организмов. "... реакция образования свободного кислорода в земной коре не единственная, но насколько можно судить, она единственная, которая дает значительные массы свободного кислорода в составе атмосферы, облекающей нашу планету" (Вернадский, 1967, 1987).

Вернадский показал также ведущую роль живого вещества в детерминации химической активности вод. Эта регуляция осуществляется путем концентрации элементов организмами из вод океана. Включенные в состав биохимических соединений, они изменяют характер миграции.

Развивая идеи В.В. Докучаева, он рассматривает почвообразование как часть более общего биогеохимического преобразования по-верхностных оболочек планеты, что вошло в основу современных представлений об эволюции почвенного покрова.

Давно были известны органогенные породы (известняки, сланцы). Но в целом деятельность организмов и разложение их остатков оценивалось как второстепенный фактор образования осадочных пород, полезных ископаемых, минералов; наиболее распространенные породы – пески и глины – считались абиогенными. Вернадский пишет: "Все минералы верхних частей коры – свободные алюмокремниевые кислоты (глины), карбонаты (известняки и доломиты), гидраты окиси железа и алюминия (бурые железняки и бокситы) и многие сотни других непрерывно создаются в ней только под влиянием жизни ..." Он подробно проанализировал роль организмов в преобразованиях соединений алюминия, железа, кремния, магния, углерода, кальция. Разбирая циклы кремния, показал, как организмы захватывают атомы кремния из водных золь кремнезема. Другие организмы разрушают алюмосиликаты, извлекая кремний. Под влиянием продуктов жизнедеятельности кремний концентрируется в твердые коллоиды – опалы, а затем и выкристаллизовывается в кварц, собирается в водных силикатах и в глинах. Образующиеся минералы со временем проникают в метаморфизированные оболочки, где образуют хлориты, хлоритоиды, тальки, серпентины, или возвращаются в исходное состояние – превращаются в слюды, полевые шпаты и др. В глубоких метаморфизированных оболочках вновь синтезируются различные каолиновые алюмосиликаты.

Вернадский доказал, что продуктами жизнедеятельности являются не только громадные запасы горючих ископаемых, но и все осадочные породы и даже, возможно, гранитная оболочка представляет собой

метаморфизированные остатки былых биосфер. Эти идеи с трудом воспринимались геологами и географами. Сейчас большинство их считает, что с самого начала образования биосферы органическое вещество стало одной из главных сил поверхностных и приповерхностных процессов, вызвавших глубокую

и мощную дифференциацию и транс-формацию первичного земного вещества наружной оболочки планеты. История жизни и история планеты являются коэволюцией.

Накопление энергии в биосфере. В.И. Вернадский отстаивал положение об особом энергетическом характере живого вещества. В кос-ных процессах количество свободной энергии, способной производить работу, постоянно уменьшается и энергия рассеивается в виде тепла. В результате существования живых организмов количество свободной энергии в окружающей среде увеличивается. Многочисленными проявлениями этой закономерности являются синтез органических соединений растениями, рост двигательной активности животных, образование свободного кислорода и каменного угля и др. Рост энергии в биосфере реализуется и через растекание жизни по планете, распределяющее энергию по поверхности планеты более или менее равномерно. "Живое вещество становится, таким образом, регулятором действенной энергии биосферы" (Вернадский, 1967. С. 181). Оно собирает солнечную энергию и передает глубоким слоям земной коры в виде химических соединений, особенно углеродистых тел и карбонатов, могущих при определенных условиях вызвать выделение свободной энергии.

Развивая высказывания предшественников о направленности эволюции жизни в сторону уменьшения энтропии, Вернадский предложил рассматривать находящуюся в биосфере энергию как результат эволюции организмов. Охарактеризовал основные способы увеличения количества энергии: 1) фотосинтез и выделение кислорода, обладающего высокой химической активностью, 2) захват растениями новых областей и превращение их в области аккумуляции солнечной энергии при фотосинтезе, 3) аккумуляции солнечной энергии в горючих ископаемых и биогенных минералах. Эволюция биосферы ведет к прогрессивному накоплению запаса превращаемой энергии в поверхностных оболочках Земли, прежде всего в литосфере, и тем самым к уменьшению производства непревращаемых форм энергии в земных условиях. По мере развития растительности и усложнения трофических связей в биосфере идет обогащение ее живого и биокосного вещества аккумулярованной энергией. "Обыкновенно в земной коре в результате жизни и всех ее проявлений происходит увеличение действенной энергии" (Вернадский, 1967. С. 179).

О возникновении новой формы миграции химических элементов. Вернадский полагал, что функции связанные с питанием, размножением и дыханием организмов, с разложением их остатков, издавна существуют в биосфере. Функция, связанная с перемещением атомов в процессах преобразования внешней среды в соответствии с потребностями организмов, стала возможной с появлением животных со сложным поведением. Деятельность роющих животных, постройка муравейников, ульев, гнезд – все было для него примером возникновения в ходе эволюции биосферы качественно новой формы биогенной миграции. Она не была связана с прохождением атомов через тело. Такая форма биогенной миграции достигла наибольшего развития в связи с потребностями человека.

Биосферные адаптации. Вернадский впервые поставил вопрос о возможности адаптационных преобразований на биосферном уровне. Важнейшей адаптацией биосферы он считал возникновение озонового экрана в ходе фотосинтезирующей деятельности растений, защитившей жизнь от губительного действия ультрафиолетового излучения: "Жизнь сама как бы создает себе защиту – один из многих примеров приспособленности, при участии жизни, биосферы для жизни ..." (Вер-

надский, 1980. С. 27).

Рассматривая биогенные циклы углерода, Вернадский показал, что углерод живого вещества с осадочными породами извлекается из биологического круговорота, "... только этим путем создается возможность для существования в биосфере соответственных масс свободного кислорода". Если бы углерод не выбывал из биологического круговорота, свободного кислорода не существовало бы вовсе и была бы невозможна эволюция и экспансия высших животных.

Способность растений улавливать солнечную энергию и переводить ее в формы, пригодные для обеспечения самых разнообразных биосферных процессов, он считал другой важнейшей адаптацией биосферы. "... весь зеленый организм и в своих сообществах и в своем движении приспособлен прежде всего к исполнению своей космической функции – улавливанию и превращению солнечного луча" (Вер-

надский, 1967. С. 243).

Проблема адаптаций биосферы и в настоящее время остается слабо разработанной.

2.2.3. Ноосфера – закономерный этап эволюции биосферы

В.И. Вернадский уже в 1913 г. писал, что в последние века появился новый фактор, который увеличивает количество свободных хи-

мических элементов, преимущественно газов и металлов, на земной поверхности. Фактором этим является деятельность человека. Продолжая деятельность живого вещества, человек осуществляет такие химические реакции, которых не было прежде на Земле. Раньше организмы влияли на историю только тех атомов, которые были нужны для их роста, размножения, питания, дыхания. Человек расширил этот круг, влияя на элементы, нужные для технического прогресса. Выделяются в чистом виде железо, цинк, олово, свинец, алюминий, никель и многие другие химические элементы. В природных условиях подобные процессы или совершенно не происходят, или осуществляются крайне редко. Еще более значительна добыча горючих полезных ископаемых. При горении каменного угля и другого топлива идет образование углерода, азота и других продуктов. Это побочные процессы. К их числу относится и развитие некоторых микроорганизмов, сопровождающих деятельность человека.

"Еще большее влияние оказывает человек полным изменением лика Земли, которое производится им во все больших и больших размерах по мере развития культуры и распространения влияния культурного человечества. Земная поверхность превращается в города и культурную землю и резко меняет свои химические свойства".

"Изменяя характер химических процессов и химических продуктов, человек совершает работу космического характера. Она является с каждым годом все более значительным фактором в минеральных процессах земной коры и мало-помалу меняет их направление". Человек меняет обратимые геохимические циклы элементов, нарушает их, включает туда новые процессы. Вводит в земную кору новые соединения, еще более неустойчивые в термодинамических условиях земной коры, чем те, которые существовали ранее, – увеличивает свободную энергию земной коры. Этот процесс имеет глубочайшую связь со всем развитием планеты.

Никому до Вернадского не приходило в голову объединить столь разнообразные, несопоставимые понятия, как "деятельность человека"

в "геологический процесс". Сама идея, что человек – часть природы, в начале XX в. была популярной среди ученых. В книгах Э. Реклю, Л. Мечникова, Ф. Ратцела, Г. Марша приводилось немало примеров конфликта между обществом и окружающей средой, подчеркивался катастрофический эффект от непредвиденных воздействий человека на природу. Но все-таки геологическая роль человека недооценивалась. Вернадский первым вывел некоторые геохимические и общегеологические закономерности деятельности человека. Он связал геологическую мощь человечества с техническим и промышленным прогрессом.

Развивая эти идеи, А.Е. Ферсман дал название геологической деятельности человека – техногенез.

Первоначально Вернадский не использовал термин "ноосфера", который был предложен в 1927 г. французом Э. Леруа. Рассмотрев закономерности эволюции жизни, Леруа пришел к выводу, что в человеке биологическая эволюция исчерпала себя. Дальнейшая эволюция "живого на нашей планете будет совершаться только духовными средствами: индукция, общество, язык, разум и т.д. И это будет ноосфера, которая следует за биосферой". Под ноосферой он понимал не геологическую оболочку Земли, преобразованную человеком, а закономерный этап в развитии живых организмов, когда доминирующая роль

в биосфере принадлежит духовному творчеству человека и продуктам его труда. По представлениям другого француза, Тейяра де Шардена, ноосфера – это прежде всего некий "мыслящий пласт", постепенно разворачивающийся из мира животных и растений и приходящий на заключительном этапе психогенеза к осознанию тождества всего существующего с точкой Омега – божеством.

Вернадский вложил в понятие "ноосфера" содержание, отличающееся от вышеуказанных трактовок. В 1938 г. Вернадский писал: "Мы присутствуем и жизненно участвуем в создании в биосфере нового геологического фактора, небывалого в ней по мощности ... Закончен после многих сотен тысяч лет неуклонных стихийных стремлений охват всей поверхности биосферы единым социальным видом

животного царства – человеком. Нет на Земле уголка, для него недоступного. Нет пределов возможному его размножению. Научной мыслью и государственно организованной, ею направляемой техникой, своей жизнью человек создает в биосфере новую биогенную силу. Жизнь человечества при всей ее разнородности, стала неделимой, единой. Событие, происшедшее в захолустном уголке любой точки любого континента или океана, отражается и имеет следствия – большие и малые – в ряде других мест, всюду на поверхности Земли. Телеграф, телефон, радио, аэропланы, аэростаты охватили весь земной шар. .. Создание ноосферы из биосферы есть природное явление, более глубокое и мощное в своей основе, чем человеческая история ... Это новая стадия в истории планеты, которая не позволяет пользоваться для сравнения, без поправок, историческим ее прошлым. Ибо эта стадия создает по существу новое в истории Земли, а не только в истории человечества". "Научная мысль человечества работает только в биосфере и в ходе своего проявления в конце концов превращает ее в ноосферу, геологически связывает ее разумом".

Для Вернадского человек прежде всего носитель разума. Он верил, что разум будет господствовать на планете и преобразовать ее разумно, предусмотрительно, без ущерба природе и людям. Он верил в человека и его добрую волю. Организованная разумом деятельность человека регулируется вторым биогеохимическим принципом, т.е. все-гда стремится к своему максимальному проявлению.

"Все человечество вместе взятое, – писал Вернадский, – представляет ничтожную массу вещества планеты. Мощность его связана не с его материей, но с его мозгом, с его разумом и направленным этим разумом его трудом".

"Разум человека меняет планету – есть одно из проявлений механизма биосферы". Вернадский считал человечество продолжателем дела всех живых организмов: задерживать и перерабатывать солнечную энергию, переводить ее в сложные формы. Такова, можно сказать, космическая функция человечества. Ею определяется основное направление развития и биосферы и ноосферы. Разум – результат долгой

в направленной эволюции головного мозга животных. Творения человека – это прежде всего продукт мысли, а затем продукт технической реализации идей. Ноосфера расширяется, проникая в космическую бездну и в глубину строения материи благодаря развитию приборов, достижений техники и творческого труда.

Заключительный этап в истории биосферы, по Вернадскому, это когда человечество стало решающим фактом преобразования природы. Он сформулировал основы учения о ноосфере (Вернадский, 1980, 1988). Сама идея о превращении человека в решающий фактор преобразования биосферы получила признание еще до Вернадского. Но он впервые показал закономерность этого процесса, связав его с предшествующей эволюцией биосферы. Вызванные человеком изменения в геохимических циклах подготовлены всей предшествующей эволюцией биосферы, они способствуют ускорению миграции атомов и увеличению свободной энергии в биосфере. "Лик планеты – биосфера – химически резко меняется человеком сознательно и главным образом бессознательно. Меняется человеком физически и химически воздушная оболочка суши, все ее природные воды" (Вернадский, 1980. С.219).

Рассмотрев закономерности эволюции жизни, он пришел к мнению, что в человеке биологическая эволюция исчерпала себя. Ноосфера – закономерный этап в развитии биосферы, в пределах которого разум человека станет общепланетарной силой, преобразующей лик Земли не только в соответствии с потребностями человека, но и с учетом законов биосферы. " Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей гео-

логической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше". "Ноосфера – последнее из многих состояний эволюции биосферы в геологической истории ..." (Вернадский, 1980. С.218-219). Ноосфера – естественное тело, компонентами которого будут литосфера, гидросфера, атмосфера и мир живых организмов, преобразованные разумной деятельностью человека. Со временем в ноосферу будет включено и околоземное космическое пространство.

в то же время Вернадский осознавал, что человечество находится лишь на подступах к ноосфере. С горечью он отмечал, что исчезают многие виды, изменяются соотношения между другими видами, при-

родные экосистемы заменяются искусственными, перестраиваются биотические связи, упрощается структура трофических цепей. Культурные экосистемы обладают меньшей геохимической энергией и сохраняются только при условии дополнительной затраты энергии человеком. Он, опираясь на данные науки о химическом составе, массе, коэффициенте размножения, скорости распространения и геохимической энергии культурных растений, утверждал, что создаваемые человеком виды обладают меньшей геохимической энергией, чем их дикие предки. Не случайно они проигрывают конкуренцию сорным видам. Замена диких форм культурными дестабилизирует биологический круговорот.

Вернадский был глубоким оптимистом. Во время самой разрушительной из войн в истории человечества в трудах Вернадского звучала уверенность в победе гуманизма и справедливости: "Исторический процесс на наших глазах коренным образом меняется. Впервые в истории человечества интересы народных масс – всех и каждого – и свободной мысли личности определяют жизнь человечества, являются мерилем его представлений о справедливости. Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой. И перед ним, перед его мыслью и трудом, становится вопрос о перестройке биосферы в интересах свободно мыслящего человечества как единого целого". Вернадский был убежден, что закономерным итогом развития биосферы будет победа разума и гуманизма: "... идеалы нашей демократии идут в унисон со стихийным геологическим процессом, с законами природы, отвечают ноосфере" (Вернадский, 1980. С. 220).

В.И. Вернадский всесторонне, в онтологическом, логическом и гносеологическом аспектах, обосновал понимание учения о биосфере как общетеоретической основы всего естествознания в целом. После появления учения о биосфере уже нельзя ограничиваться представлением о естествознании как некоторой бесформенной совокупности знаний о природе. Оно имеет свои общие принципы, свою стержневую линию развития, заключающуюся в движении к учению о биосфере. Общее естествознание впервые за всю свою историю получает, наконец, в лице учения о биосфере, развитую научно-теоретическую форму.

Тема 3

ОРГАНИЗОВАННОСТЬ БИОСФЕРЫ И ЕЕ УСЛОЖНЕНИЕ С

ЭВОЛЮЦИЕЙ ЖИЗНИ

3.1. Эволюционные изменения интегральных характеристик биосферы

3.1.1. Изменение общей биомассы и продуктивности

∖endash числу параметров, характеризующих биосферу как целостную систему, следует отнести ее общую биомассу и биологическую продуктивность, энергетику, информационный "фонд" и общепланетарный биологический круговорот. Проблема их эволюции поставлена еще в трудах Вернадского, но из-за громадной сложности и отсутствия надежных данных она далека от решения.

∖endash вопросу об изменении биомассы биосферы Вернадский подходил неоднозначно. И в настоящее время существуют сторонники идей как постоянства биомассы, так и увеличения ее количества при эволюции жизни. Большинство биологов считает, что в ходе истории живых организмов возрастало общее количество живого вещества, о чем свидетельствовали нарастающие разнообразие организмов, завоевание все новых экологических зон и дифференциация экологических ниш. Геологи, биогеохимики и философы скептически относятся к возможности однозначно решить этот вопрос. Так, В. И. Виноградов пришел к выводу, что ни видовой состав биосферы, ни ее пространственное строение не определяют количества живого вещества. Биомасса биосферы всецело обусловлена наличием тех элементов и определенных условий в пределах земной коры, которые необходимы для построения органического вещества. Он полагал, что уже первичные организмы в кратчайший срок (геологического времени) использовали все потенциальные возможности для увеличения биомассы.

Решение проблемы зависит прежде всего от возможности оценить количество биомассы в современной биосфере и биосферах прошлого. В. А. Успенский (1956) исходя из постоянства коэффициента фоссилизации органического углерода (0,8% органического углерода уходит в захоронение с осадочными породами) и показателей его содержания в осадочных породах попытался определить суммарную

биомассу биосферы за все время ее существования, взятое условно за 600 млн лет. Даже при столь заниженном возрасте оказалось, что годо-вая продукция органического углерода в современной биосфере пре-вышает объем средней годовой продукции в биосферах прошлого в 29,5 раз. Полученный результат хорошо согласуется с данными о со-держании углерода в осадочных породах палеозоя, мезозоя и кайнозоя, которые показывали постепенное возрастание содержания органиче-ского углерода в суммарной биомассе фоссилирующего углерода. Так, среднее содержание углерода в палеозойских отложениях - 0,62 %, в мезозойских - 0,68 и в кайнозойских - 1,32 %. Другими авто-рами также были произведены расчеты по динамике содержания орга-нического углерода в породах разного возраста.

А. Б. Ронов пришел к выводу, что факт увеличения содержания органического углерода в более молодых породах объясняется прежде всего увеличением биомассы и биоактивности растений, усилением перехода их остатков в ископаемое состояние, а также потерями лету-чих соединений древними отложениями. Н. М. Страхов и Н. Б. Вассович отмечают, что неизвестно, какая часть отмершей части переходит в ископаемое состояние. Так, в эволюционном ряду хвой-ные леса - лиственные леса - травянистые сообщества шло уменьше-ние процента органики, поступающей в захоронение. Фитоценозы по-следних этапов развития биосферы отличаются все более замкнутым биологическим круговоротом, почвами с все более быстро мигрирую-щей органикой и с все меньшим содержанием органических веществ, выключенных из биологического круговорота.

Интересными являются данные по биомассе океана и суши, так как долгое время область жизни была ограничена гидросферой. По данным Н. И. Базилевич и Л. С. Родина сравнение продукции океана и суши показывает, что продуктивность биосферы, количество вовле-каемых в биологический круговорот элементов увеличилось по край-ней мере в три-четыре раза. В океане, биологическая структура кото-рого сложилась в конце палеозоя, биомасса равняется 3,42 млрд т су-хой массы. В более молодых наземных экосистемах биомасса состав-ляет, по данным разных авторов, $1,8 \cdot 10^{12}$ т (А. М. Рябчиков), $2,42 \cdot$

(Н. И. Базилевич), $2,63 \cdot 10^{12}$ т (И. А. Суетов) и даже $3,1 \cdot 10^{12}$ - $1,0 \cdot$

(В. А. Ковда). Даже при столь различных данных по биомассе суши ясно, что биомасса океана в современном балансе планеты по весу иг-рает менее значительную роль. Однако и эти данные по соотношению биомассы суши и океана нельзя трактовать однозначно. Удержание химических элементов в биологическом круговороте суши могло за-метно снизить биологическую продуктивность океана.

Кроме величины биомассы в эволюции жизни и биосферы суще-ственную роль сыграло изменение продуктивности экосистем. Био-масса большинства травянистых растений почти полностью минерали-зуется в 1-2 года, в то время как биомасса стволов, корней, ветвей де-ревьев остается живой десятки и сотни лет. Поэтому аккумулятивное значение травянистого покрова в биосфере не меньше, а, возможно, больше, чем лесной растительности. Особенно это касается таких яв-лений, как гумусообразование и биогеохимия углерода, азота, крем-ния, кальция, калия, фосфора. По подсчетам В. А. Успенского (1956),

В результате биологических процессов в ненарушенных экосистемах (дыхание, разложение, жизнедеятельность беспозвоночных, грибов, бактерий и др.) продуцируется огромное количество углекислоты - $13,5 \cdot 10^{10}$ т/год. Интенсивность циклических процессов образования живого вещества за время существования биосферы, по мнению Ус-пенского, возросло в 29 раз. Травянистые растения сыграли в этом не последнюю роль.

ходе эволюции биосферы менялось соотношение между проду-центами, консументами и редуцентами. Если в океане, древнейшей части биосферы, биомасса продуцентов составляет всего 1/16 часть, то на суше биомасса растений более чем в 99 раз превышает биомассу животных и микроорганизмов.

Большинство биологов считает, что живое вещество биосферы, используя непрерывность поступления космической энергии, развива-лось по принципу «самоуправляемого расширенного воспроизводства» биомассы, численности организмов, их разнообразия и растущей сложности.

3.1.2. Изменение энергетики биосферы

К. А. Тимирязев рассматривал хлорофилл в качестве посредника между рассеянной солнечной энергией и энергией синтезируемых в растениях органических веществ. В. Анри подчеркивал, что жизнь препятствует превращению полезной энергии в теплоту, и был уверен, что в ходе прогрессивной эволюции в биосфере увеличивается количе-ство энергии, аккумулированной организмами. В. И. Вернадский в 20-40-х гг. подсчитал количество энергии, связанной живым веществом, -

10^{19} ккал.

Биосфера как автотрофная система оказалась в состоянии не только обеспечивать космической энергией свои потребности, но и аккумулировать значительные ресурсы энергии. Увеличение биомассы

2. накопление ископаемого органического вещества изменяют энерги-

тику атмосферы. Только в месторождениях горючих ископаемых сконцентрировано более $1 \cdot 10^{13}$ т органического вещества (по

А. И. Перельману), а всего в осадочных породах - около $3,48 \cdot 10^{15}$ т (по Н. Б. Вассович). Энергия, накопленная в осадочных породах, равняется

10^{25} Дж (по Р. С. Волскис). По В. А. Ковде (1985), гумусовая оболочка суши содержит примерно такое же количество связанной энергии, как и надземная биомасса (табл. 4). Ископаемые источники энергии (угля, сланцев, торфа, нефти, газа), созданные биосферами прошлого, на 2-3 порядка выше. При этом не учитывается энергия, связанная в рассеянном органическом веществе толщ осадочных пород.

Таблица 4

Энергетические ресурсы биосферы	Энергия, ккал
Приток солнечной энергии в год	$n \cdot 10^{20-21}$
Учтенные запасы ископаемой энергии	$n \cdot 10^{22-23}$
Энергия биомассы планеты	$n \cdot 10^{20}$
Энергия биомассы суши	$n \cdot 10^{19}$
Энергия гумусовой оболочки почв и мелководий	$n \cdot 10^{19-20}$
Энергия, связываемая ежегодно фотосинтезом	$n \cdot 10^{17-18}$
Энергия, связываемая ежегодно в фитомассе земледелия	$n \cdot 10^{12-13}$

Огромное количество энергии накопилось в земной коре и в почве за всю историю биосферы. Кроме того, значительная часть энергии, аккумулированная ранее живым веществом, теперь представлена в форме поверхностной энергии дисперсных частиц в зоне выветривания, а также расходуется во многих геологических процессах. Живое вещество, участвуя в раздроблении горных пород на тонкодисперсные коллоидные вещества, передает им дополнительную энергию. Чем больше суммарная поверхность, тем больше энергия. Наибольшей поверхностной энергией обладают глины, илы, ископаемые угли, чернозем, которые способны сорбировать из окружающей среды различные соединения. Аккумуляторами энергии являются и сульфиды: чтобы восстановить серу ($S^{6+} \rightarrow S^{2-}$) и железо ($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$), надо затратить энергию, и она в скрытом виде содержится в пирите и других сульфидах. При окислении на земной поверхности сульфиды отдают энергию окружающей среде. Поэтому в зоне окисления сульфидных руд повышается температура, в Сибири тает вечная мерзлота, во многих странах на участках разработки сульфидных руд известны "колчедановые пожары". Энергия выделяется и в химической форме, так как при

окислении пирита образуется серная кислота, разрушающая окружающие породы.

Благодаря энергетической функции биосфера оказалась способной поддерживать жизнь на планете, умножать численность и усложнять виды организмов, обеспечивать потребность гетеротрофных организмов - животных и человека в энергии.

По Г. Ф. Хильми, в поверхностной оболочке Земли постоянно накапливается превратимая энергия, что обеспечивается благодаря выработке у растительного покрова адаптаций к максимальному захвату солнечной энергии. На континентах оно достигается путем увеличения фотосинтезирующей поверхности (образование листовой мозаики, непрерывный растительный покров, его ярусная структура, дифференциация растений по сезонам вегетации).

и целом в биосфере используется лишь 0,1-0,2 % годовой величины солнечной радиации, аккумулированной фотосинтезом. На суше она колеблется в пределах 0,3-0,46 % (оптимум 1-2 %), эффективность использования энергии фитопланктоном ниже (0,04 % энергии, достигающей поверхности океана). Обнаружено увеличение энергетической эффективности экосистем различного эволюционного возраста (по отношению продукции к биомассе). В ландшафтах хвойных лесов, возникших в середине пермского периода, отношение продукции к биомассе составляет 0,54-0,55, в ландшафтах с покрытосеменными деревьями, возникших в середине мела, - 0,59-0,68. В ландшафтах с травянистыми покрытосеменными (степи, саваны), возникших в неогене, достигает 0,96. По мнению А. И. Перельмана, возрастание ежегодной продукции на единицу биомассы следует рассматривать как показатель прогрессивного развития экосистем. Экстраполяция закономерностей на вымершие формации (влажные папоротникообразные среднего палеозоя и прапапоротникообразные нижнего палеозоя) дали показатели 0,4 и 0,3. В. Ф. Левченко считает, что эффективность наземных экосистем по использованию солнечной энергии возросла за последние 540 млн лет в 100 раз.

Энергетическая эволюция биосферы связана с возрастанием целесообразности живых систем: рост общей экономичности обмена веществ и круговорота биомассы, уменьшения непроизводительных потерь при большей работоспособности, более высокой надежности при большей активности, нарастании тенденции к автоматизации (по И. И. Шмальгаузену), усилению гомеостатических механизмов и др. Для биоэнергетики клетки высших растений характерен высокий консерватизм, по видимому, уже на начальных стадиях жизни была выработана весьма совершенная структура внутриклеточных энергетических процессов.

Одним из наиболее общих и наглядных способов характеристики энергетической эффективности биосферы, по К. М. Завадскому, может стать критерий средней выживаемости особи у доминирующих в биосфере таксонов. Повышение средней выживаемости особи стало главной стратегией в прогрессивной эволюции живого. В то же время повышалась энергетическая эффективность живого вещества в биосфере. Если у низших организмов, представителей древних биосфер, средняя выживаемость особи очень мала - $1/10^9$ из числа родившихся, то у высших она достигает 10-30 %. Таким образом значительно возрастает вероятность выполнения видовой функции воспроизведения; у низших организмов способ воспроизведения неэкономичен, а у высших сократились непроизводительные расходы биомассы. Это обеспечило захват жизнью новых экологических зон, интенсификацию энергетических процессов в биосфере, повышение миграции элементов и др.

Появление гомойотермных животных было подлинной революцией в энергетике биосферы, так как расходование ими громадного количества энергии для поддержания физиологического оптимума потребовало дополнительных запасов биомассы на низших уровнях трофических цепей. По С. С. Шварцу, в древних биогеоценозах биомасса растений в 4-5 раз превышала биомассу животных и не менее 15% энергии, накопленной в низших звеньях пищевых цепей, переходило в верхние звенья. В третичных биогеоценозах биомасса автотрофов уже в сотни раз превышает биомассу консументов и лишь 2-3% фитомассы идет на построение органов и на размножение животных. Это еще одно доказательство связи энергетической эволюции биосферы с общим повышением активности животных, расширением ареала миграции.

Высокая эффективность использования энергии на уровне элементарных физиологических процессов обеспечивает выживание организмов. Сложившаяся структура использования энергии на разных уровнях организации живого является фактором, гарантирующим стабильность биосферы. В ходе ее эволюции была создана такая структура жизни, при которой распределение энергии по разным уровням и эффективность ее использования на каждом уровне обеспечивали целостность и устойчивость биосферы.

Советские ученые Н. В. Белов и В. И. Лебедев, развивая идеи Вернадского об аккумуляции энергии в минералах, высказали интересную гипотезу об эволюции энергетики под влиянием эволюции живого вещества. Аккумулированная солнечная энергия, погружаясь в

глубинные слои Земли, становится источником мощных тектонических и магматических процессов (рис. 2). Минералы, заряженные энергией, образуются практически при всех процессах, где участвуют или живое вещество, или его продукты (гипергенез, образование глин, кремниевых пород, бокситов, известняков, солей). Погружаясь в зонах геосинклиналей в недра, минералы «разряжаются». Освободившаяся энергия способствует разогреванию земных недр и используется в процессах гранитизации, образования месторождений рудных ископаемых, а также орогенетической и интрузивной деятельности Земли.

Многие геологи и геохимики отвергают данную гипотезу, так как богатые энергией минералы образуются в процессах абиогенных изменений полевых шпатов. Однако рядом ученых гипотеза была поддержана. Так, Н. Н. Верзилин и др. (1977) считают, что возрастание интенсивности геологических процессов на протяжении истории Земли



Рис. 2. Схема большого круговорота и взаимодействия солнечной энергии с глубинной энергией Земли (по Н. В. Белову, В. И. Лебедеву, с изменениями)

ли свидетельствует о том, что их энергетическими источниками служат радиоактивный распад вещества и эволюция живых организмов. Ускорение эволюции геологических процессов происходит параллельно усилению интенсивности биологических круговоротов, скорости

миграции элементов в биосфере, скорости накопления в минеральном веществе потенциальной химической энергии. Деятельность живого вещества является движущей силой развития земной коры.

Представления о большом геологическом круговороте вещества, который связывает воедино процессы эволюции жизни с тектогенезом

В магматизме и обеспечивается солнечной энергией, аккумулированной организмами, в настоящее время находятся на стадии гипотезы. Однако сама попытка связать процессы эволюции живого с процессами осадкообразования, тектогенеза, орогенеза и магматизма может оказаться перспективной для познания основных тенденций в эволюции биосферы и прилегающих к ней других поверхностных оболочек Земли.

Мы находимся лишь в начале пути познания энергетических закономерностей эволюции биосферы как целостной системы. Пока приходится ограничиваться положением о том, что по мере прогрессивного развития жизни усиливается накопление в биосфере превращаемой энергии и обогащение этой энергией других поверхностных оболочек Земли. Возрастает негэнтропийная роль биосферы.

3.1.3. Изменение информационного «фонда»

В современной биологии и экологии под информацией, как правило, понимают меру многообразия и сложности организации жизни и биосферы в целом. В ходе истории живых организмов наблюдалось

увеличение информационной «емкости», рост количества форм организмов (рис. 3). Изменение информации - это главная тенденция и в эволюции биосферы, выражалась в возрастании многообразия и структурированности биосферы: увеличение количества геохимических барьеров, рост дифференцированности физико-географического и гео-химического строения биосферы и т.д.

Первым кибернетический подход к эволюции живого применил М. М. Камшилов (1974). Он пришел к выводу о неизбежности ускорения роста информации в биосфере по мере возрастания ее сложности. Для количественной оценки роста информации применил данные о видовом разнообразии организмов. В отдельные периоды широкого распространения зон с теплым и влажным климатом (карбон, мезозой) объем живого вещества был больше, чем в современной биосфере. Однако разнообразие современных физико-географических условий (наличие аридных и гумидных зон, высокогорий и т.д.), в которых обитают организмы, обуславливает большее разнообразие видов жи-

вотных и растений или, иными словами, большее количество биологической информации.

По В. А. Кордюм, в биосфере находится громадное количество генетической информации, которая благодаря различным способам неполной передачи (симбиоз, трансформация, трансдукция) постоянно воздействует на организмы. Это позволяет организмам быстро приобрести новые признаки. Предположив широкий обмен генетической информации между очень отдаленными таксонами, он признает реальной единицей эволюции не вид, а биосферу в целом.

По теории симбиогенеза профессора биологии Амхерстского университета Л. Маргулис (L. Margulis) в основе эволюции эукариот находится механизм включения генетического материала микроорганизмов в наследственные клетки растений или животных. Возникающие в результате новые генетические системы – гибриды бактериаль-

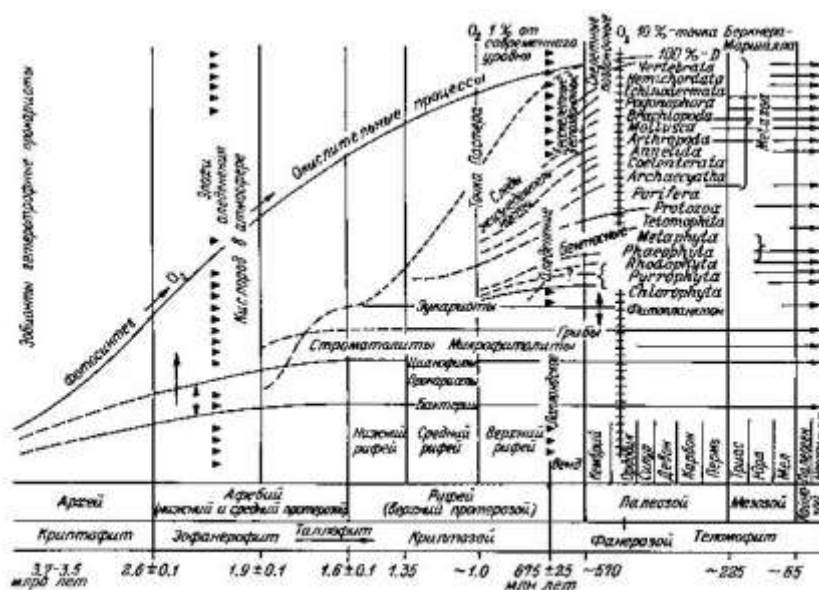


Рис. 3. Нарастающее многообразие живых организмов (по Б. С. Соколову)

ной и растительной или бактериальной и животной клетки – являются чем-то подлинно новым, принципиально отличающимся от исходных клеток, не содержащих материалы симбионта. Из таких «химер» складывались все более и более сложные биологические системы, происходило эволюционное обновление. Доказательством гипотезы симбио-

генеза Л. Маргулис считает присутствие генов в цитоплазме многих простейших, эти гены являются остаточным генетическим материалом каких-то вирусов или бактерий, случайно попавших в клетку и «застрявших» в ней. Обнаружено, что передача внеядерных генов по наследству происходит по другому механизму, чем передача хромосомных генов. Гены хлоропластов в растительных клетках и митохондрий

в животных клетках также передаются от клетки к ее потомкам по особым правилам, которые во многом отличаются от правил передачи ядерных генов. Следовательно, эукариотные клетки имеют как мини-мум две генетические родословные. Миллиарды лет назад эти важ-нейшие органеллы были отдельными живыми простейшими организ-мами. На каком-то этапе эволюции они вступили в тесный симбиоз с другими простейшими клетками, и в течение миллионов лет развития образовались эукариоты, владеющие фотосинтетическим аппаратом; также появились эукариоты, осуществляющие в митохондриях процесс создания молекул АТФ, позволяющих клетке энергично переми-щаться в поисках пищи.

А. И. Перельман (1973) раскрывает информационный подход с позиции геохимии. Разделение веществ в ходе истории биосферы оз-начало рост количества неорганической информации. Он проявляется

в прогрессивной дифференциации химических элементов, образовании различных биогенных осадочных пород, месторождений полезных ископаемых, в возникновении геохимических барьеров (усиление окислительно-восстановительной, кислотно-щелочной контрастности среды), в изменении кларков концентрации отдельных химических элементов и т. д. Перельман предлагает назвать увеличение неорганической информации законом прогрессивного развития биосферы.

Образование и эволюция почвенного покрова также представля-ют собой пример увеличения информации. Многообразие почв, диф-ференцированность их строения, сложность организации этих биокос-ных тел есть результат переноса биологической информации на кос-ную среду. Формирование всех биокосных систем планеты свидетель-ствует о процессе повышения сложности их организации, увеличения разнообразия и, следовательно, идет с накоплением информации.

Основное выражение информационного подхода сводится к по-вышению надежности и устойчивости биосферы. Устойчивость экоси-стем и их возможность приспособиться к изменяющимся абиотиче-ским факторам в значительной степени зависят от их сложности, т.е. от числа составляющих их видов животных, растений, микроорганиз-мов, и взаимодействия между ними и окружающей средой. Эволюция идет в сторону достижения наибольшей суммы жизни (биомассы, продуктивности), которая возможна лишь при наибольшем разнообразии видов в экосистемах. Возрастание структурной сложности биосферы и усложнение взаимодействий между ее компонентами вели к повыше-нию ее целостности и независимости от космоса и других геологиче-ских оболочек Земли.

Повышение количества информации в экосистемах обусловлива-ло не только количественные, но и качественные преобразования био-сферы, было источником дальнейшего ее развития в связи с усложне-нием биогеоценологических связей.

Рост информации не был непрерывным и монотонным процес-сом. Были периоды резкого сокращения биологической, а возможно, и неорганической информации. Часть информации постоянно переходи-ла в ископаемое состояние в виде однородных горных пород. Все раз-нообразие месторождений горючих ископаемых не может в какой-либо степени отразить многообразие организмов, из которых они об-разовались.

Информационный критерий позволяет выразить такие тенденции эволюции биосферы, как возрастание дифференциации живого, био-косного и косного веществ. Однако он не отражает расширения зоны распространения жизни, перестройки энергетики биосферы, преобра-зования биогеохимических функций, усиления роли живого вещества, выветривании, почвообразовании, осадкообразовании, в преобра-зовании атмосферы и гидросферы. Интегральная характеристика всех этих процессов может быть выработана на основе изучения историче-ских преобразований биологического круговорота - главного механиз-ма биосферы, обеспечивающего его функционирование.

3.1.4. Эволюция биологического круговорота

Увеличение биомассы живого вещества, возрастание энерговоо-руженности биосферы и ее информационной «емкости» являются сто-ронами единого процесса - эволюции биологического круговорота. Впервые эту мысль высказал Вернадский: живое вещество, избира-тельно извлекая из окружающей среды элементы и их изотопы, созда-ет и сохраняет в охваченной ими области общепланетарный биологи-ческий круговорот. Идея получила поддержку в работах почвоведов, географов, геохимиков (В. Р . Вильямс, И. П. Герасимов, А. П. Вино-градов, А. И. Перельман, М. М. Камшилов, В. А. Ковда, А. П. Лапо и др.).

По мнению В. Р. Вильямса (1950), единственный способ придать количественно ограниченному свойство бесконечного - это придать

ему циклическое движение, заставить его вращаться в круговороте. Этот способ использовала жизнь, выработав его в процессах длительного отбора и дошлифовки биотических отношений. Уже развитие примитивных флорифаунистических комплексов и начальная их дифференциация вели к возникновению особых биогенных циклов в сложных круговоротах вещества и превращениях энергии. Формирующиеся трофические отношения в зарождающейся биосфере способствовали изыманию элементов из большого геологического круговорота и вовлечению их в новый, меньший по сравнению с исходным биологический круговорот. Эти элементы стали вращаться в круговороте «расширяющейся спиралью». Сложившаяся в биосфере система отношений продуцентов, консументов и редуцентов обеспечивает удержание зольных элементов в биологическом круговороте. Постепенно биогенные циклы вещества и энергии приобрели общепланетарный характер, используя при этом особенности геологического цикла.

Геоботаник И. А. Титов в гипотезе эволюции «георастительных сообществ» развил мысль о сопряженной эволюции абиотических и биотических компонентов биосферы: «Биотическая эволюция свойств среды жизни в георастительных системах воздействует на генетические превращения и отбор растительных организмов, симбиозифизиологических консорциев и растительных формаций, участвующих в развитии этих систем». Сами эти превращения и отбор определяют ход биотической эволюции факторов среды. Новые конструктивные и физиологические свойства организмов обуславливают способы использования в биологическом круговороте элементов зольного и азотного питания. В ходе эволюции биосферы шел отбор более совершенных биологических трансформаторов энергии, осуществляющих более совершенно в данных условиях круговорот материального фактора-минимума, элементов зольного и азотного питания.

Эволюцию активности животных И. А. Титов также объяснял с точки зрения усовершенствования биологического круговорота. Рост активности способствовал расширению используемых животными территорий и их пищевых ресурсов. Животные, расширяющие арсенал ресурсов, способствуют интенсификации биологического круговорота.

И. П. Герасимов показал, что в процессе приспособления растений к условиям низкого естественного плодородия почв складывался сплошной биоценотический покров, появлялись все более сложные по структуре и видовому составу биогеоценозы. Усложнялась пищевая цепь и повышалась интенсивность биологического круговорота. В его орбиту стали вовлекаться все большие массы вещества, все более разнообразные по своему составу химические соединения, которые на более ранних этапах геологической истории свободно мигрировали, не захватываясь организмами, в поверхностных и грунтовых водах и достигали океана. Возрастающее влияние живого на среду, расширение сферы существования жизни и вызванные этим изменения геохимических отношений между океаном и сушей в свою очередь оказывали воздействие на дальнейшую эволюцию живого. Тем самым усложнение и совершенствование биологического круговорота представляет собой не только важнейший результат эволюции биосферы, но и источник ее дальнейшего развития.

Эволюцию биологического круговорота, изменение его отношений с большим геологическим круговоротом веществ можно рассматривать как общее усложнение процессов обмена веществ между геологическими оболочками планеты. Круговорот веществ на начальных стадиях развития Земли рассматривал А. П. Виноградов. Он показал, что развитие поверхностной оболочки Земли в сторону наиболее устойчивого динамического равновесия приводит к обмену веществ между отдельными геосферами и внутри них. Вначале существенную роль играли процессы выноса веществ из недр Земли в ходе дегазации и выплавления. Особенно интенсивно они шли в архее, когда происходили крупные колебательные движения земной коры, обширный орогенез, вулканизм, гранитизация. Громадные массы магматического вещества и вулканических газов поступали из глубинных слоев на поверхность. Затем зона обмена веществом между глубинными и поверхностными оболочками резко сократилась, так как области геосинклиналей сузились. Большое значение приобрел большой круговорот воды, благодаря которому происходила миграция элементов и эволюция химического состава геосфер.

2. протобиосфере (по В. В. Ковальскому) существовала очаговая «оболочка», составленная из абиогенных органических и активных координационных соединений микроэлементов. Эти соединения могли выполнять зачаточные биогеохимические функции (концентрационную, окислительную, восстановительную). Так зарождался биологический круговорот химических элементов.

Изучение фанерозойных палеобиосфер и современных геохимических ландшафтов стало основой в понимании эволюции собственно биологического круговорота (труды Б. Б. Польнова, Н. И. Базилевич, М. А. Глазговской, В. В. Добровольского, А. И. Перельмана, В. А. Ковды и др.).

3. ходе завоевания жизнью гидросферы, нижней части тропосферы, верхней части литосферы возрастало воздействие жизни на миграцию химических элементов. По А. А. Саукову, три главных события повлияли на эволюцию биологического круговорота: появление фотосинтезирующих растений, выход

растений на сушу, появление человеческого общества. Так, возникновение наземной флоры вело к накоплению органического вещества в почвах, залежах торфа, угля и т.д. Формировались некие «органические барьеры», препятствующие элементам мигрировать с суши в водоемы.

А. И. Перельман (1975) выделил три этапа в эволюции геохимического ландшафта: абиогенный, биогенный и культурный. Биогенный разделен на этапы: докембрий, ранний и поздний палеозой, мезозой и кайнозой. Становление биологического круговорота он относил к периоду докембрийских геохимических ландшафтов, когда жизнь пробовала различные варианты биологического круговорота, вовлекая в интенсивную миграцию разные элементы, пока не возник наиболее целесообразный круговорот. Со временем нарастала дифференциация биологического круговорота, связанная с появлением новых циклов элементов, изменения их форм миграции, ускорение темпа круговорота, совершенствование способности к максимальному использованию минерального вещества и воды, к повышению продуктивности ландшафтов. Несмотря на направленность эволюции биологического круговорота, обусловленную прогрессом живых организмов, в ней наблюдается и некоторая периодичность. В периоды тектонического покоя при участии живого вещества в почву поступало больше углекислоты

и органической кислоты, почвенные воды становились более кислыми. Нарастало выщелачивание и обеднение ландшафтов элементами минерального питания растений. В эпохи интенсивного орогенеза магматические процессы выносили в биосферу породы, обогащенные фосфором, калием, кальцием, натрием и другими макро- и микроэлементами, радиоактивными элементами. Изменение химизма пород и почв сопровождалось определенными изменениями в биологическом круговороте веществ.

Высокая зависимость биологического круговорота от эволюции растительного покрова показана В. А. Ковдой. Возрастание количества видов с различными биогеохимическими и экологическими функциями означало усиление биологического круговорота, вовлечение в него все большего числа химических элементов, а также возрастание роли живого вещества в процессах выветривания, осадкообразования, преобразования атмосферы, гидросферы, литосферы. Он оценивает появление почвообразовательного процесса как важнейшее событие в эволюции биосферы, подготовленное появлением на суше микроорганизмов и растений. Постепенно почвенный покров превратился в важнейший компонент биосферы, представляя область концентрации процессов разложения останков животных и растений, а следовательно, и освобождения громадного количества энергии и накопления питательных веществ. Почва стала важнейшим аккумулятором вещества и энергии, используемых в биологическом круговороте.

По В. А. Ковде (1985), появление водорослей повысило роль биологического круговорота минеральных элементов, так как зольность водорослей в 3-4 раза выше, чем бактерий. Особенно возросла доля натрия, серы и хлора, наметилась тенденция к увеличению доли кремния и фосфора, получившая дальнейшее развитие у наземных растений. Размеры биологического круговорота непрерывно увеличивались как вследствие увеличения количества видов и массы живого, так

ввиду общего возрастания зольности от хвойных к лиственным древесным породам и от последних к травянистым. Он указывал также на противоречивость эволюции биологического круговорота: увеличение в тканях растений содержания фосфора, серы, железа, магния, кальция в особенно калия происходило с колебаниями и отклонениями. Содержание кремния, достигнув максимума в хвощах, хвойных и злаках, в дальнейшем уменьшается. Доля хлора в наземных растениях в целом постепенно снижалась.

Биолог М. М. Камшилов (1974), синтезируя дарвинизм с идеями В. И. Вернадского, говорит о расширении области жизни и усилении давления живых организмов на среду (рис. 4). Распространение жизни на планете создало предпосылки для сознательного регулирования обмена вещества и энергии между органическими и неорганическими компонентами биосферы. Жизнь изначально существовала в форме биологического круговорота, основанного на взаимодействии синтезаторов и деструкторов. Возник он на базе абиотического круговорота, в недрах которого стали формироваться циклы органического вещества в виде синтеза и распада химических соединений углерода. Он выделил следующие основные этапы эволюции биологического круговорота:

круговорот, осуществляемый прокариотными формами жизни;

возникновение одноклеточных эукариотов;

усложнение циклической структуры жизни в результате надстройки трофических отношений из многоклеточных животных, растений и грибов;

превращение биологического круговорота в общепланетарный процесс в связи с завоеванием жизнью суши;

усложнение и расширение области действия биологического круговорота с завоеванием доминирующего положения гомойотермными животными;

возникновение человеческого общества, переход к биологическому круговороту, сознательно регулируемому людьми;

распространение биологического круговорота на космическое пространство.

Характерная черта эволюции биологического круговорота заключается в том, что жизнь, извлекая из среды необходимые вещества

в обогащая ее продуктами жизнедеятельности и свободной энергией, неизбежно изменяет свои условия существования. Она должна постоянно приспосабливаться к новым, созданным ею же условиям существования. Вместе с ней неизбежно должен меняться биологический круговорот.

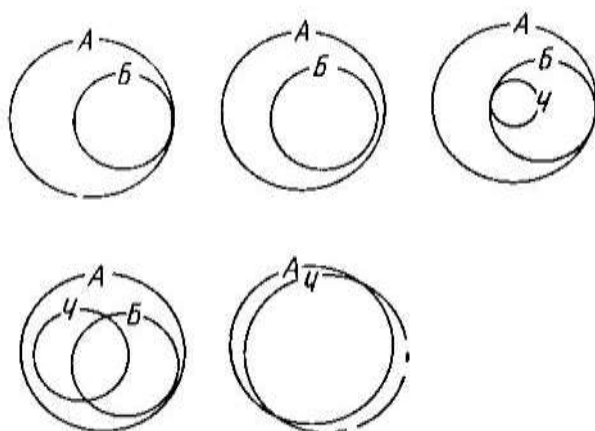


Рис. 4. Стадии развития биосферы (по М. М. Камшилову, с изменениями): А – большой абиотический круговорот, Б – биосфера, Ч – человечество

Новые формы жизни возникают на базе старых и нередко могут существовать лишь вместе с ними. Это не только усложняет биологический круговорот, но и повышает надежность его функционирования. Постоянно возрастает темп эволюции в силу усложнения биотических взаимоотношений, выступающих в роли факторов адаптивных преобразований.

Ведущее значение биологического круговорота в ходе исторических преобразований живого отмечали и многие другие биологи. По Н.В. Тимофееву-Ресовскому, эволюция биосферы связана с повыше-

нием интенсивности биологического круговорота. А. П. Хохряков утверждает, что ускорение смены органов растений в ходе филогенеза обусловлено действием второго биогеохимического принципа Вернадского, по которому в ходе прогрессивного развития жизни неизбежно усиливается биогенная миграция атомов в биосфере.

В работах биологов не раз отмечалось, что эволюция биологического круговорота должна анализироваться с позиции пищевых цепей. По мнению А. М. Гилярова, усложнение трофической структуры экосистем не может идти бесконечно, скорость эволюционных преобразований неизбежно замедляется по достижении максимально возможного количества трофических уровней. А. М. Уголев отмечает, что трофические взаимодействия – единая целостная система, биологический круговорот, прежде всего трофический процесс. Формирование его началось с конца – с редуцентов, использующих абиогенные органические вещества. По мере истощения его запасов возникали фотосинтезики и хемосинтезики. Эволюция каждого вида определяется его приспособленностью к трофической структуре биосферы. Играть роль не только его обеспеченность источниками питания, но и «поедаемость» каждого члена трофической цепи, т.е. доступность для других быть источником пищи. Эволюция трофической системы биосферы

направлена на обеспечение высокой эффективности, экономичности, регулируемости и надежности функционирования биосферы.

Само развитие биосферы связано с постоянным разрешением противоречия между безграничной способностью организмов к размножению и ограниченностью материальных ресурсов. Разрешение этого противоречия способно только на пути создания все более прогрессивных форм, способных к овладению новыми источниками вещества и энергии и к рациональному их использованию. Все это усложняло структуру биологического круговорота.

Ближайшей задачей эволюционной теории является изучение воздействий микро- и макроэволюции на исторические преобразования биосферы, на ее биогеохимическую и энергетическую эволюцию.

3.1.5. Саморегуляция биосферы и биосферные адаптации

ее современном представлении биосфера есть глобальная открытая система со своим «входом и выходом». Ее «вход» - это поток солнечной энергии, поступающий из космоса. Кроме того, биосфера получает некоторое количество вещества из космоса. Общее количество поступающего на Землю метеоритного вещества и пыли ежегодно составляет $n \cdot 10^{-6} - n \cdot 10^{-9} \text{ г/см}^2$, что в пересчете на поверхность Земли

дает астрономическую величину - ежегодно $10^6 - 10^8 \text{ т}$ вещества. Биосфера теряет небольшую часть молекул газов из верхних слоев атмосферы, но основной ее «выход» - образованные в ходе жизнедеятельности организмов вещества, которые ускользнули из биологического круговорота в результате погружения в литосферу (иногда на миллионы лет). Биосферу считают кибернетической системой, обладающей свойствами саморегуляции. Одно из наиболее характерных проявлений организованности биосферы В. И. Вернадский видел в наличии озонового экрана, находящегося за пределами биосферы и поглощающего губительные для жизни ультрафиолетовые лучи. Образование озонового экрана - яркое проявление саморегуляции биосферы.

С. С. Шварц к адаптациям (саморегуляции) относил разнородность трофических уровней, каждый из которых включает сотни и тысячи видов, состоящих в свою очередь из миллионов и миллиардов особей. Это многообразие повышает вероятность сохранения геохимических и энергетических функций биосферы в случае каких-то катастроф планетарного масштаба.

Другой пример саморегуляции биосферы - Мировой океан. Реки ежегодно приносят в него 1,5 млн т карбоната кальция, а солевой состав воды существенно не меняется. Организмы используют карбонаты для построения своих скелетов, а после их отмирания карбонаты опускаются на дно. Так путем создания «кальциевых покровов» стабилизируется состав океанических вод. Этот механизм действует в биосфере уже многие миллионы лет и обеспечивается живыми организмами.

Преобразование суши в связи с выходом жизни из воды можно рассматривать также в качестве примера саморегуляции биосферы, так как это стало приспособлением к дальнейшему развитию жизни и биосферы. Выветривание, почвообразование, делювиальные и аллювиальные наносы покрыли органоминеральными покровами мелкоземные бесплодные и безводные скалы, создав рыхлые горизонты, благоприятные по физическим и химическим свойствам для существования растений, особенно их корневых систем, и животных (экологические ниши). Фотосинтез растений явился механизмом накопления активной биохимической энергии в массах органического вещества, в форме почвенного гумуса, в виде ископаемых горючих, как бы гарантирующих удовлетворение запросов организмов на случай стрессовых условий и неблагоприятных периодов.

Ограниченность ресурсов азотно-углеродного, водного, воздушного, минерального питания живое вещество преодолело путем создания почвенного покрова. В почвах происходит неосинтез высокодисперсных минералов, обеспечивающих физико-химическую поглощающую способность (сорбция соединений азота, фосфора, кальция, калия и др.). Еще более эффективным путем осуществляется аккумуляция гумусоорганическими соединениями макроэлементов (С, N, P, Ca, S, K) и микроэлементов (I, Zn, Cu, Co, Se и др.), происходящая в прижизненных выделениях организмов, опаде, подстилке, корнях, в поверхностных почвенных горизонтах, подпочвенных, грунтовых, речных водах. Надо иметь в виду, что масса прижизненных выделений в почву в десятки и сотни раз превосходит вес биомассы организмов. По своему биогеохимическому значению в поддержании жизни на планете почвенный покров сравним с озоновым экраном стратосферы. Пищевые цепи, их звенья и последовательная реализация на суше

складываются и осуществляются на поверхности почвы и в основном внутри почвы, которая служит как бы главным хранителем биоэнергетических ценностей, созданных фотосинтезом в биосфере системой растения-почвы (Ковда, 1985).

Сейчас считают, что в биосфере представлено более полутора миллионов видов живых организмов, включающих миллионы и миллиарды особей. Палеоботаник О. П. Фисуненко подсчитал, что количество родов высших растений составляло в силуре -1, в девоне - 36, в интервале от карбона до триаса - 150-200, от юры до неогена - 250-300. Данные показывают отчетливую тенденцию к возрастанию внутреннего-го многообразия биосферы на примере высших растений, которая укреплена механизмы саморегуляции.

Характерной особенностью биосферы является мозаичность строения, она функционирует в виде отдельных экосистем, представляющих собой комплекс взаимосвязанных организмов разных видов и изменяемой ими абиотической среды, обладающий способностью к саморегуляции и полному самовозобновлению биоты. В природных ненарушенных экосистемах складываются биогеохимический круговорот и последовательность многократного повторного вовлечения в ткани живого вещества главных биофильных элементов и соединений: энергия, вода, органика, углекислота, кислород, азот, фосфор, сера, кальций, калий и т.д. Эти локальные циклические процессы являются «почти замкнутыми», так как экосистема отдает за пределы лишь малую часть (5-10 %) своего вещества. Пищевые цепи обеспечивают длительное удержание внутри экосистем энергии, связанной фотосинтезом, и резерва биофильных элементов, необходимых для новых поколений живого вещества (рис. 5). На этой основе слагаются главные звенья биогеохимического круговорота суши. Экосистемы находятся в постоянном взаимодействии друг с другом, и все вместе образуют гигантский круговорот веществ в биосфере. Часть энергии и биофильных элементов, вырванных из экосистемы, поступает в биогеохимический цикл вещества бассейна, континента, мигрируя с водными и воздушными потоками. Миграция веществ в горизонтальном направлении (водная или воздушная) является важнейшим звеном в механиз-

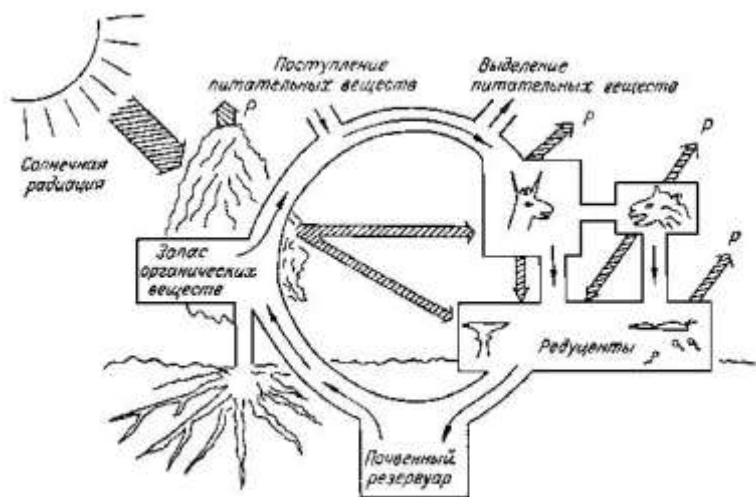


Рис. 5. Циклический характер движения потоков веществ и космической энергии в экосистеме, определяемый жизнедеятельностью организмов (по Казначееву, 1989): P – потери энергии при движении, дыхании и т. д.

ме самоуправления биосферы, условиями жизни и элементами питания организмов.

Экосистемы, сложившиеся в процессе длительной эволюции, приспособления видов и популяций между собой и к условиям среды, становятся интегрированными, устойчивыми образованиями, способными путем саморегулирования противостоять изменениям как в среде, так и в количестве компонентов экосистемы. Понятие устойчивости, саморегуляции с экосистем распространяется на природные зоны, на биосферу в целом.

Г. Л. Шкорбатов относит к числу биосферных адаптаций регуляцию круговоротов биогенных элементов. Основными элементами, участвующими в нем, являются H, C, N, Ca, K, Mg, Si, P, S, Mn, B, Sr, Ba, Zn, Mo, Cu, Co. Биологический круговорот не является замкнутым.

Степень воспроизводства циклов - 90-98%. В масштабе геологического времени эта незамкнутость приводит к дифференциации элементов и накоплению их в атмосфере, гидросфере или осадочной оболочке. В то же время в биологический круговорот поступают элементы из геологического оборота (например, CO_2 из недр планеты).

Непрерывному круговороту в биосфере подвергаются только вещества, в отношении энергии можно говорить лишь о направленном потоке (рис. 6). Общую картину преобразования энергии в живых организмах представляют в форме энергетической пирамиды. Солнечная энергия частично расходуется на синтез органического вещества: автотрофные организмы, поглощая энергию, превращают низкомолекулярные бедные энергией неорганические вещества в высокомолекулярные богатые энергией соединения. Из этого органического вещества значительная часть расходуется в процессе жизнедеятельности самих растений, часть усваивается организмами, непосредственно поедающими растения.

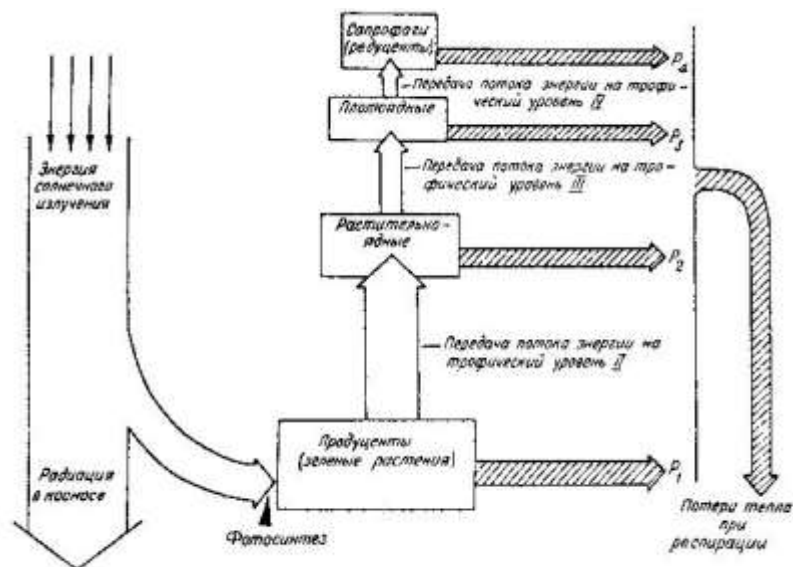


Рис. 6. Распределение потока солнечной энергии в экосистемах (по В. П. Казначееву, 1989): P – потеря энергии, переход в тепловую форму энергии

Второй этаж энергетической пирамиды характеризует приход энергии от автотрофных растений к животным и гетеротрофным растениям,

которые потребляют энергию, заключенную в автотрофных растениях. В среднем не более 10% первоначально усвоенной энергии передается живым организмам, потребляющим энергию автотрофных растений. Эти организмы в ходе своей жизнедеятельности также теряют много энергии, в том числе на дыхание и другие функции. Третий ярус пирамиды соответствует приходу энергии у животных, которые существуют за счет потребления энергии, усвоенной другими животными.

О этот ярус входят плотоядные животные. Многие живые организмы, в том числе и человек, потребляют часть энергии, непосредственно созданной растениями, и часть энергии, созданной животными. Передаваясь с одного трофического уровня на другой, энергия постепенно рассеивается. После окончательного разложения органических остатков энергия частично накапливается в земной коре в виде алюмосиликатов, которые называются «геохимическими аккумуляторами».

В. А. Ковда (1985) исходя из учения о биосфере В.И. Вернадского, новых научных фактов и представлений дает определение биосферы Земли как открытой сложной многокомпонентной **саморегулирующейся**, связанной с космосом системы живого вещества и минеральных соединений, образующей внешнюю оболочку планеты. Главными компонентами биосферы как особой оболочки планеты являются следующие:

О потоки космической энергии, электромагнитные и гравитационные поля, космическое вещество, поступающие на Землю;

О биомасса живой растительности, способной путем фотосинтеза и роста фиксировать и преобразовывать космическую энергию в химическую потенциальную энергию и хранить ее в виде органических соединений;

О почвенный покров, обеспечивающий существование растительности (механическая опора, корнеобитание, водное, углекислородное, азотное, минеральное питание, тепловой режим, накопление запасов энергии в виде детрита и гумуса);

О биомасса живущих на почве и в почве консументов (животных, простейших, микроорганизмов), потребляющих фитомассу и доводящих ее до полной минерализации;

О водная оболочка (гидросфера);

О атмосфера;

О литосфера (оболочка биогенных осадочных пород).

высочайшей эффективности механизмов саморегуляции биосферы свидетельствует скорость воспроизводства живого вещества. Обновление всего живого вещества биосферы осуществляется в сред-

нем за 8 лет, фитомассы суши - за 14 лет, в океане обновление массы живого - за 33 дня, фитомассы океана - каждый день. Благодаря биологическому круговороту в гидросфере процесс всей смены вод осуществляется за 2800 лет. Смена O_2 в атмосфере происходит за несколько тысяч лет, CO_2 - за 6,3 года. Эти цифры показывают, что геохимический эффект деятельности живого вещества проявляется в течение не только геологического времени (миллионы и миллиарды лет), но ясно выражен в пределах исторического времени (тысячи лет и менее).

Тема 4

БИОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ – ГЛАВНЫЙ ФАКТОР ЭВОЛЮЦИИ БИОКОСНЫХ СИСТЕМ ПЛАНЕТЫ

Живые организмы и неорганическая (косная) материя на Земле тесно связаны между собой и образуют в совокупности различные сложные природные системы, которые Вернадский назвал биокосными: «Биокосные естественные тела характерны для биосферы. Это закономерные структуры, состоящие из косных и живых тел одновременно (например, почвы), причем все их физико-химические свойства требуют - иногда чрезвычайно больших - поправок, если при их исследовании не учтено проявление находящегося в них живого вещества» (Вернадский, 1980. С. 62).

Первой биокосной системой Вернадский назвал почву. Он также считал, что биокосными телами является большинство земных вод: «Все воды океанов и морей, рек и озер, все их илы представляют биокосные тела. Газовый режим, химический состав и иловые осадки всех этих вод - их химия - в основном определяются живым веществом» (Вернадский, 1980. С. 62). Процесс выветривания горных пород является биокосным процессом; биогеохимический подход к изучению кор выветривания, по мнению Вернадского, может стать весьма плодотворным, ликвидировать отсталость в области химической геологии. Биокосные системы этого рода играют большую роль в организованности биосферы - самой крупной из биокосных систем.

а настоящее время к биокосным системам относят коры выветривания, илы, водоносные горизонты, ландшафты (экосистемы, биогеоценозы), речные бассейны, моря, океаны и др. Во всех биокосных системах развивается биологический круговорот атомов, на первом этапе которого атомы входят в состав живых организмов и «заряжаются энергией» (включены в органические соединения, богатые энергией). На втором этапе биологического круговорота идет разложение органических веществ и переход атомов снова в состав минеральных соединений. При этом аккумулированная солнечная энергия выделяется в тепловой и работоспособной химической форме. За счет химической работы происходит почвообразование, выветривание горных пород, изменение водоносных горизонтов и другие процессы. По В. И. Вернадскому, «захватывая энергию Солнца, живое вещество соз-

дает химические соединения, при распаде которых эта энергия освобождается в форме, могущей производить химическую работу».

Разложение органических веществ - это сквозной процесс, характерный для всех биокосных систем, процесс, поставляющий в систему свободную энергию, делающую систему неравновесной. Постоянное

поглощение солнечной энергии, перевод ее в химическую работоспособную форму определяют эволюцию биокосных систем, их усложнение, дифференциацию, самоорганизацию, рост в них разнообразия. Биокосные системы богаты информацией.

4.1. Геохронология развития живых организмов

Наиболее распространенная точка зрения в современной науке обосновывает постепенную экспансию жизни на нашей планете. В хронологии развития живых организмов используются данные о последовательности и продолжительности основных этапов истории Земли, учтены последовательные изменения в характере фаун, флор и литогенеза. В табл. 5 приведены сведения о продолжительности и абсолютном возрасте эр и периодов в геологической истории Земли. Верхняя часть геохронологической таблицы (палеозойская, мезозойская и кайнозойская эры) составляет фанерозойский эон, нижняя часть

и криптозойский эон (докембрий).

Докембрий. Первые следы деятельности живых организмов относятся к времени около 3,8 млрд лет тому назад. Предполагается, что в число древних живых существ входили фотосинтезирующие клетки типа цианобактерий и бактерий, которые принадлежали к прокариотам, т.е. организмам, не содержащим клеточного ядра. За архейскую эру жизнь прошла путь от пробионтов к клеточным организмам, а в конце архея появились первые эукариоты, имеющие настоящее ядро (зеленые водоросли). Кроме того, в этот период произошли еще два крупных эволюционных события: появилась половая форма размножения и возникли первые многоклеточные организмы. Половое размножение резко повышает возможность приспособления к условиям среды вследствие создания бесчисленных комбинаций в хромосомах. Предшественниками многоклеточных организмов были колониально-одноклеточные (нитчатые и шаровидные существа), которые в результате дифференцировки клеток колонии дали начало большинству современных организмов.

Уже в архее жизнь разделилась на мир растений (автотрофные организмы) и мир животных (гетеротрофные организмы). Животные

появились позже растений, причем остатки их ранних форм сохранились незначительно, так как они не имели скелетов или других частей, которые оставляют отчетливые следы в палеонтологической летописи. Для интервала времени 2,5-3 млрд лет встречаются находки строматолитов - слоистых отложений карбонатов, состоящих из тонких волокнистых пластинок. Строматолиты являются продуктами жизнедеятельности бактерий. К интервалу 2-2,5 млрд лет относятся находки микроскопаемых, среди которых, по мнению исследователей, обнаруживаются ранние эукариоты - организмы, клетки которых имели ядра.

Таблица 5

Геохронологическая шкала

Эра	Период	Эпоха	Длительность периода или эры, млн лет	Абсолютный возраст начала периода, млн лет
Кайнозойская	Четвертичный	Голоцен	2	2

Плейсто-
цен

Третичный	Плиоцен	64	66
	Миоцен		
	Олигоцен		
	Эоцен		
	Палеоцен		

Мезозойская	Меловой		66	132
	Юрский		53	185
	Триасовый		50	235
Палеозойская	Пермский		45	280
	Каменно- угольный		65	345
	Девонский		55	400
	Силурийский		35	435
	Ордовикский		55	490
	Кембрийский		80	570
Протерозой- ская			2030	2600
Архейская			900	3500

По-видимому, все (или почти все) организмы докембрия, так же как двух первых периодов палеозойской эры, обитали в гидросфере.

протерозойскую эру произошло значительное перераспределе-ние площадей суши и моря на планете и развитие многоклеточных организмов. В течение этой эры бактерии и водоросли достигли своего расцвета. Господство эукариот (плавающих в толще воды растений) привело к появлению форм, прикрепленных ко дну. Постепенно тело многоклеточных растений расчленялось на части, выполняющие раз-ные функции (прикрепления, фотосинтеза и т.д.). В этот период сфор-мировались губки, кишечнополостные, плоские и кольчатые черви, появились первые членистоногие, моллюски, иглокожие.

течение архея и протерозоя жизнь становится геологическим фактором, меняя состав земной коры, атмосферы, мирового океана.

Кембрий. В кембрийский период климат был умеренным. Живот-ные и растения населяли в основном моря. Среди растений господ-ствовали различные водоросли. Существовали уже все основные типы животных, кроме хордовых. Появляются организмы с минерализован-ным скелетом. На суше, помимо одноклеточных организмов, появля-ются первые наземные многоклеточные растения. Заселение суши по-требовало дифференциации тела растения на стебель, корень, листья.

Ордовик. Фауна гидросферы пополнилась новыми формами, существовали представители большинства известных классов морских беспозвоночных животных. Шел интенсивный процесс образования рифов коралловыми полипами. Появились и развились первые хордовые. Появление у них хватательного ротового аппарата вызвало их интенсивное развитие.

ордовике продолжилось развитие наземной флоры, появились первые плауновидные и хвощевидные.

Силур. В морях силура продолжалось бурное развитие низших позвоночных, у примитивных рыб появились парные плавники-конечности. На сушу вышли первые, дышащие воздухом животные – членистоногие.

На суше появились примитивные высшие растения - риниофиты. Накопление органики в первичных почвах привело к развитию грибов.

Девон. Климат девона был резко континентальным, засушливым,

и резкими колебаниями температуры в течение суток и по сезонам, появились аридные зоны. Наблюдались и оледенения. В этот период большого расцвета достигли рыбы, заселившие моря и пресные воды. Многие наземные водоемы пересыхали в засушливые периоды года, промерзали в холодные; поэтому появились двоякодышащие рыбы, у которых наряду с жаберным развивалось легочное дыхание. У кисте-перых рыб плавники приобрели вид лопастей, которые позволяли им ползать по дну. Кисте-перые рыбы дали начало первым земноводным – стегоцефалам, явившимся предками многообразных позвоночных, позднее населивших сушу. Произошло освоение суши пауками, кле-щами, скорпионами, ракообразными, червями, насекомыми.

На суше в девоне появляются первые леса из гигантских папо-ротникообразных, хвощевидных и плауновидных; сформировались мохообразные и праголосеменные.

Карбон (каменноугольный период). В этот период произошло за-метное потепление и увлажнение климата. В жарких болотистых лесах произрастали высокоствольные (до 40 м) папоротники и хвощи. В течение большей части карбона значительная часть суши находилась в условиях избыточного увлажнения, что делало возможным накопление

К болотистой почве и осадочных породах органического вещества кар-боновых лесов. Таким образом сформировались каменные угли.

В карбоне развивались голосеменные растения: семенные папо-ротники, цикадовые, гингговые и др. Переход к семенному размноже-нию давал этим растениям много преимуществ перед споровыми (за-щиту зародыша, снабжение его питательными веществами и др.).

Крупные изменения произошли в мире животных, осваивающих сушу. Большого разнообразия достигли земноводные (амфибии). Поя-вились крылатые насекомые, в том числе гигантских форм (тараканы, стрекозы). Проникновение животных в атмосферу было новым шагом к расширению границ биосферы. В конце карбона появились первые пресмыкающиеся. В морях широко распространены фораминиферы, кораллы, пресноводные моллюски.

Пермь. Поднятие суши в пермский период привело к развитию засушливого климата и похолоданию. В начале периода существовало крупное континентальное оледенение, занимавшее значительную часть Южного материка (Гондваны). Такое изменение природных ус-ловий оказало глубокое влияние на развитие жизни. Влажные леса смещаются к экватору. Большинство крупных папоротникообразных постепенно вымирает, им на смену приходят голосеменные растения. Обширные районы суши со сравнительно влажным климатом были заняты лесами, состоящими в основном из голосеменных, особенно резко возросло количество хвойных растений (араукариевые, подокар-повые, сосновые).

Иссушение климата привело к вымиранию многих земноводных, включая большинство стегоцефалов. Древние пресмыкающиеся (коти-лозавры, хищные иностранцевии и пермоксинодоны) осваивают на-земную среду. Рептилии широко расселяются по суше благодаря при-обретению механизма внутреннего оплодотворения, ороговению кожи, усложнению легких и др. Возникают звероподобные рептилии - тероморфы. В морях - вымирание трилобитов, древних иглокожих и голо-воногих, крупных фораминифер.

Триас. Начало мезозойской эры сопровождалось активным горо-образованием, возникли Урал, Тянь-Шань, Алтай. Это сопровождалось дальнейшей аритизацией суши. Вымирает большинство влаголюбивых

организмов: земноводные, папоротники, хвощи и плауны. Среди растений господствуют голосеменные, среди животных – пресмыкающиеся.

Животный мир суши включал многообразные группы пресмыкающихся. В середине триаса появились растительноядные и хищные динозавры - группа, достигшая в дальнейшем большого распространения. От одной из сохранившихся групп звероподобных рептилий - те-риодонтов - произошли млекопитающие. Первые млекопитающие представлены мелкими неспециализированными первозверями и сумчатыми. Вымерли палеозойские акулы и кистеперые рыбы, из амфибий - большинство стегоцефалов. Морская фауна богата двусторчатыми моллюсками, плеченогими, головоногими, морскими лилиями и пр., появились костистые рыбы, в дальнейшем широко распространившиеся. Изобилие рыб и моллюсков позволило рептилиям (ихтиозаврам) освоить водную среду.

Юра. В юрский период на Земле установился теплый климат, близкий к современному тропическому. На суше появились гигантские растительноядные динозавры (до 30 м) и охотившиеся на них хищные динозавры. Разнообразны морские пресмыкающиеся. Рептилии начали осваивать и воздушную среду, появились летающие ящеры – птеродактили. Одновременно с этим появились первые птицы, сумчатые млекопитающие.

Достигают максимального расцвета хвойные растения, появляются все ныне живущие семейства. С мелового периода известны дос-товерные остатки покрытосеменных растений, предками которых, по-видимому, были какие-то древние малоспециализированные голосеменные. С первыми цветковыми растениями начался процесс эволюции и насекомых-опылителей.

Мел. Для морских отложений мелового периода характерно обилие мела, образовавшегося из раковин простейших животных. Накопление этих отложений привело к уменьшению содержания углекислого кальция в атмосфере. В этот период получили распространение на суше покрытосеменные растения, в том числе магнолии, дубы, лавры, платаны, которые вытесняли папоротники и некоторые примитивные голосеменные (беннеттитовые, саговниковые, семенные папоротники).

Продолжалось развитие гигантских рептилий, очень больших размеров достигли также летающие ящеры. На протяжении мела увеличивается разнообразие млекопитающих, появились первые плацентарные. Происходила прогрессивная эволюция птиц, которые, однако, были сравнительно немногочисленными. Богатая фауна морских беспозвоночных включала гигантские формы - отдельные виды белемнитов и аммонитов. Быстро возрастало разнообразие костистых рыб. Обитали крупные рептилии - ихтиозавры, плезиозавры, мозазавры. К концу периода наступает процесс интенсивного горообразования, поднимаются Альпы, Анды, Гималаи, Кавказ. Климат стал резко континентальным и более холодным. Это привело к вымиранию всех крупных форм пресмыкающихся. Большинство выживших рептилий (ящерицы, змеи) были небольших размеров, лишь в экваториальном поясе сохранились довольно крупные - крокодилы. В условиях общего похолодания преимущество получили теплокровные животные – птицы и млекопитающие.

Третичный период. В третичный период устанавливается теплый равномерный климат. В нижнем миоцене тропики и субтропики были сплошь заняты лесами с пальмами, вечнозелеными лаврами, дубами, каштанами, миртами, фикусами, гигантской секвойей, араукарией, болотными кипарисами; в верхнем миоцене они начинают вытесняться саваннами. В плиоцене и плейстоцене утвердились сухие, открытые в мозаичные ландшафты с выраженной сезонностью. В целом отмечается господство покрытосеменных растений.

Развиваются плацентарные млекопитающие и вытесняют сумчатых почти со всех континентов. Наиболее примитивными были насекомоядные млекопитающие, от которых произошли первые хищные и приматы. Древние хищные дали начало копытным. Часть млекопитающих начала завоевание моря – появились ластоногие и китообразные. К концу третичного периода появились все современные группы млекопитающих. Интенсивно развивались различные насекомые, особенно связанные с цветковыми растениями. Произошло формирование многих видов птиц.

Четвертичный период. Для этого периода характерно развитие наземных и морских оледенений, постоянно существовавших в высоких широтах и временами проникающих в средние широты. На место

теплолюбивой лесной растительности пришла холодоустойчивая тра-вянистая и кустарниковая, образовались обширные травянистые эко-системы.

В областях, примыкающих к ледниковым щитам, формировалась своеобразная флора и фауна. Растительный покров соединял черты тундры и степи, представлен мхами, травянистыми (злаки, осоки) растениями, кустарниками и низкорослыми деревьями (ивы, березы, оль-хи, сосны, лиственницы). Среди животных видное место занимали ма-монты и шерстистые носороги, а также овцебыки, северные олени, песцы и другие животные.

Влияние ледниковых эпох на растительный и животный покров выражалось в перемещении географических зон в более низкие широты при наступлении ледников и возвращении этих зон в более высокие широты при их отступлении. Последствия оледенений: миграции фауны с севера на юг и наоборот, обеднение фауны в результате вымирания многих видов, изменение размеров и конфигурации ареалов. Гюнцское оледенение привело к вымиранию в Европе мастодонтов, тапиров и гиппариона. После миндельского оледенения появились ги-гантский, благородный и северный олени, лось, тур, пещерный лев. В конце ринцо-виурского формируются иная фауна: мамонт, волосатый носорог, заяц-беляк, овцебык и др. Вымирание мамонтовой фауны отчетливо коррелирует с окончанием последнего (виурского) оледенения - 10-12 тыс. лет назад. В конце плейстоцена значительно изменилась фауна Америки. Вымерло большинство крупных животных : представители мамонтовой фауны, мастодонты, слоны, все лошади, большинство верблюдов, мегатерии и глиптоноты, носороги. Из крупных млекопитающих сохранились лишь олени и бизоны в Сев. Америке и ламы и тапиры в Юж. Америке. В начале голоцена формировалась современная фауна. Потепление климата привело к колоссальному увеличению численности гнуса и комаров. В четвертичный период происходила интенсивная эволюция приматов.

4.2. Влияние эволюции живого на состав атмосферы

Историю атмосферы Земли делят на три основных этапа. Первый из них - время существования первичной атмосферы, которая, по-видимому, имела химический состав, сходный с химическим составом существующих сейчас атмосфер больших планет. Эта атмосфера состояла главным образом из легких газов - водорода и гелия, которые удерживаются силами притяжения крупных планет (Юпитер, Сатурн), но в связи с меньшей массой нашей планеты были быстро утрачены. Вторичная атмосфера создавалась постепенно в результате потери газов (дегазации) разогретыми слоями Земли. По А. П. Виноградову (1958), при разогревании вещества мантии происходит выплавление силикатов. H_2O , как и другие летучие соединения - HF , HCl , $B(OH)_3$, возможно, BF_3 , BCl_3 в закрытой системе под воздействием гравитационной силы, отнесаются к периферии планеты. В земной коре происходит охлаждение расплава, вода освобождается в виде пара. Пары воды выносят с собой растворяющиеся в ней вещества. При выходе на поверхность пары дали жидкую фазу - собственно гидросферу. Мало-растворимые в ней вещества - CO_2 , CH_4 , H_2 удалялись из гидросферы вверх, создавая газовую оболочку - атмосферу. Атмосфера состояла в основном из CO_2 , к которой были подмешаны пары воды, аммиак, метан и малые порции инертных газов. Атмосфера в течение длительного времени не содержала значительного количества кислорода. Свободный кислород, возникавший под влиянием фотодиссоциации, расходовался на окисление аммиака до свободного азота и воды, а метана - до углекислоты и воды. Так происходила медленная трансформация газового состава в направлении накопления в ней главного компонента современной атмосферы - азота. Одновременно накапливались радио-генные инертные газы: Ar , Xe , Kr , Ne , He . В настоящее время вопрос о наличии значительных количеств оксида углерода, аммиака, метана в древней атмосфере является дискуссионным. Большинство ученых считает, что кроме паров воды основными компонентами были не метан и аммиак, а углекислый газ и азот (по составу вулканических газов Венеры и Марса).

Кислород в более или менее заметных количествах начал накапливаться в атмосфере после распространения фотосинтезирующих организмов. Доказательствами бескислородности первичной атмосферы являются следующие факты:

химическая эволюция, которая привела к созданию живого вещества, возможна только в отсутствие кислорода (по гипотезе А. И. Опарина и Дж. Холдейна только в восстановительных условиях океана могла зародиться жизнь);

В отложениях возраста старше 2 млрд лет присутствуют соединения урана и железа, которые не могли сформироваться в условиях со значительным количеством кислорода в атмосфере (распространенность в древнейших отложениях уранинита и пирита - минералов, нестабильных в условиях кислородного выветривания);

- обедненность этих отложений соединениями различных химических элементов с кислородом.

Последний этап в истории атмосферы - эпоха накопления в атмо-сферном воздухе кислорода. Наличие кислорода сделало невозможным сохранение в атмосфере сколько-нибудь значительных количеств легко окисляющихся газов, в результате кислородная атмосфера уже в

отдаленном прошлом была составлена теми же главными компонентами, из которых состоит современная (азот, кислород, водяной пар, углекислый газ и некоторые инертные газы). К концу рифея атмосфера приобрела качественно современный вид, состоящий в основном из азота и кислорода с резко подчиненными массами углекислого газа. Отличия могли быть, по-видимому, чисто количественные: в древней атмосфере рифея было меньше, чем сейчас, кислорода и больше углекислого газа (Страхов, 1963). Из газов атмосферы наибольшее значение для жизни имеют кислород и углекислый газ, при этом их количество само существенно зависит от деятельности организмов. Рост массы живого вещества в биосфере вызвал убыль CO_2 и соответственно прирост свободного кислорода в атмосфере, формируется современный ее состав, в котором 78 % (по объему) образует азот, 21 % - кислород и лишь 0,03 % - CO_2 .

Интересные материалы были получены по биогенному происхождению кислорода. По В. Я. Шипунову, в процессе фотосинтеза ежегодно выделяется около $2 \cdot 10^{17}$ г кислорода, весь имеющийся в атмосфере кислород мог образоваться за несколько тысяч лет. Разность между его приходом в биосферу и расходом на окислительные реакции - решающий фактор эволюции состава атмосферы.

Л. Беркнер и Л. Маршалл (Berkner and Marshall, 1965, 1966) исходили из того, что первоначально накопление кислорода шло медленно

О лишь к началу фанерозоя был достигнут однопроцентный уровень современного содержания. В конце силура критическая точка в 10% дала возможность жизни выйти на сушу. В карбоне содержание кислорода было максимальным, и лишь в мезозое оно приближается к современному уровню. Ученые попытались показать, как накопление кислорода вело к освоению новых регионов биосферы, высказывалась мысль о биогенной регуляции климата путем воздействия растительности на газовый состав атмосферы.

М. И. Будыко применил данные о содержании органического углерода в отложениях фанерозоя и рассчитал, сколько при этом накоплении органики образовалось кислорода. Масса атмосферного кислорода в начале фанерозоя составляла около одной трети ее современного количества. Рост объема кислорода в фанерозое шел неравномерно. Первое резкое увеличение кислорода произошло в девоне-карбоне, когда оно достигло современного уровня. В конце палеозоя масса кислорода уменьшилась, достигнув уровня первой половины палеозоя. В середине мезозойской эры произошло второе резкое увеличение количества кислорода, которое сменилось процессом его заметного убывания. Климатические изменения в фанерозое главным образом зависели от динамики концентрации CO_2 в атмосфере, средняя температура воздуха повышается на $2,5^\circ \text{C}$ при удвоении концентрации этого газа по сравнению с современным количеством, равным 0,03%.

М. И. Будыко (1984) рассмотрел взаимодействие газового состава и эволюции организмов. Он показал, что повышение массы кислорода в девоне-карбоне, во второй половине мезозоя и в кайнозое зависело от увеличенной продуктивности автотрофных растений. Значительное уменьшение количества кислорода в пермский период и на протяжении большей части триаса, по-видимому, связано с распространением в эту эпоху аридных условий на континентах. Уменьшение CO_2 в конце палеозоя привело к падению биопродуктивности растительности и снижению биомассы биосферы.

М.И.Будыко выдвинул гипотезу о временных совпадениях появления животных с высоким уровнем метаболизма с периодами максимального содержания O_2 (млекопитающие - в конце триаса, птицы - в середине юры). Вся история эволюции организмов связана с глубокими изменениями в механизмах их энергоснабжения, причем у прогрессивных организмов эффективность указанных механизмов возрастала. Примером совершенствования системы энергоснабжения могут служить изменения органов кровоснабжения у различных классов позвоночных. Хотя общая схема этих органов одинакова, механизм кровоснабжения в ходе эволюции позвоночных существенно менялся. У рыб сердце состоит из последовательно расположенных камер, причем со-суды, переносящие артериальную и венозную кровь, не вполне изолированы друг от друга. Предсердие земноводных разделено вертикальной перегородкой, что затрудняет смешивание артериальной и венозной крови. В сердце рептилий имеются дополнительные

перегородки. Наиболее совершенна система кровоснабжения у птиц и млекопитающих, обеспечивающая их самым высоким уровнем энергоснабжения по сравнению с другими классами позвоночных. Аналогичные изменения произошли в процессе эволюции органов дыхания. У рептилий птиц и млекопитающих этот процесс сопровождался все большим расчленением легких, в связи с чем внутренняя поверхность легких возрастала, их строение усложнялось и поступление энергии в организм увеличивалось. Уровень снабжения организма энергией на единицу массы при прочих равных условиях определяет возможный размер тела и степень его физической активности. Увеличение размера тела требует повышения эффективности их систем кровоснабжения и дыхания. Переход животного от существования в воде, где движение не требует преодоления силы притяжения, к жизни на суше, где эта сила является постоянной нагрузкой, требует значительного увеличения объема потребления энергии. Переход животных от ходьбы к бегу и к летанию также связаны с ростом потребления энергии. Расход энергии

у позвоночных животных возрастает при формировании эффективного механизма терморегуляции.

Уровень энергопотребления позвоночных животных зависит как от особенностей их строения, так и от содержания кислорода в атмосфере, так как аэробные организмы используют кислород в реакции расщепления глюкозы и родственных ей соединений, в ходе этой реакции образуются CO_2 и H_2O и выделяется энергия, используемая в жизнедеятельности. Шесть классов позвоночных (хрящевые рыбы, костистые рыбы, земноводные, рептилии, млекопитающие и птицы) возникли на протяжении двух сравнительно коротких интервалов времени. Первый охватывает девонский период и часть карбона (два класса рыб, земноводные, рептилии). Затем длительное время новых классов не возникало, и только на границе триаса и юры появились млекопитающие, а в юре - птицы. На этом образовании классов закончилось. Автор полагает, что в периоды повышенного содержания O_2 увеличилось разнообразие организмов: в фанерозое имелось два максимума содержания кислорода - в девоне-нижнем карбоне и в конце триаса-юрском периоде. Повышение расхода энергии может быть достигнуто при росте содержания кислорода, что создавало преимущество в борьбе за существование для более сложных организмов, жизнедеятельность которых при прочих равных условиях требовала большего расхода энергии. Дополнительное количество энергии может быть использовано для усложнения организма, его отдельных органов или тканей в ходе эволюционного развития.

С динамикой содержания CO_2 связана эволюция растений. Для энергетики высших растений важнейшим фактором является концентрация CO_2 , от которой зависит интенсивность фотосинтеза. Известно, что повышение концентрации CO_2 при прочих равных условиях повышает количество энергии, используемой растениями. В течение фанерозоя повышение концентрации CO_2 произошло в середине девона, в первой половине пермского периода, в середине триаса - конце мела, в эоцене и миоцене. Сопоставление с эпохами формирования высших таксономических групп растений показывает: вторая половина девона

– господство споровых растений, пермь-начало триаса - распространение голосеменных, мел - появление первичных цветковых растений и миоцен - экспансия степных растительных сообществ.

В работах О. П. Добродеева (1975) и Г. В. Барина (1972) развилась гипотеза об исторических преобразованиях растительности, атмосферы и климата как едином саморегулируемом процессе. Веду-

щая роль отводится интенсивности фотосинтезирующей деятельности растений, этим объясняются периодические смены эпох оледенения и потепления в плейстоцене. Можно допустить, что распространение материкового льда и сильное сокращение площади лесной растительности с характерной для них высокой биомассой способствовали повышению углекислоты в воздухе и относительному потеплению. Вызванное этим сокращение ледников и распространение лесов сопровождалось изъятием углекислого газа из воздуха и связыванием его в биомассе и органическом веществе почв, что в свою очередь, вызывало постепенное похолодание и появление материкового оледенения, за которым следовало сокращение площади лесов и повторение всего цикла. Периодические смены климатических эпох сопровождаются интенсивными процессами видообразования. Вновь возникающие виды растений обладают более мощными и совершенными механизмами фотосинтеза и метаболизма, что ведет к сокращению периодов биосферных ритмов и к ускорению эволюции жизни.

К современным теоретикам биосферизма в западной литературе относят Джеймса Лавлока (James Lovelock), который, занимаясь химией атмосферы, сформулировал «Гей-гипотезу», согласно которой Земля является в самом прямом смысле единым живым организмом. Один из важнейших аргументов – неизменное, на протяжении всей истории Земли, функционирование атмосферы, которая определяет

химический состав остальных геосфер, а состав ее самой контролируется живыми организмами. «Гей-гипотеза» Лавлока была опубликована в 1979 г. и дала мощный толчок развитию биосферного мышления.

Однако и в настоящее время существенно отличаются взгляды ученых на конкретные пути эволюции атмосферы. Аналогичная картина и в зарубежной литературе. Даже популярная гипотеза Дж. Лавелока о биогенном происхождении атмосферы и ее регуляции органическим миром нередко подвергается критике. Существует гипотеза об абиогенном происхождении свободного кислорода из железной сердцевины ядра Земли (по А. Г. Сорохтину).

4.3. Стабилизация химизма океана

Мировой океан занимает 3/4 земной поверхности. Это динамичная биокосная система, регулирующая состав атмосферы и литосферы. Океан составляет 80% всей массы свободной воды земной коры - гидросферы, оставшиеся 20% - поровые воды илов и горных пород

(18,8%), ледяные покровы материков (1,2%), реки и озера (0,002%), атмосфера (0,008%).

Соленость воды в поверхностных слоях океана колеблется от 3,5 до 4%. Несмотря на колебания солености, соотношение основных ионов остается постоянным, солевой состав океана является своего рода геохимической константой.

Основную массу растворенных соединений составляют хлориды щелочных и щелочно-земельных элементов, меньше сульфатов, еще меньше гидрокарбонатов (табл. 6). Концентрация рассеянных элементов на 3 порядка ниже, чем в горных породах. Диапазон содержания рассеянных элементов - 10 порядков. Отчетливо доминируют Br, Sr, F, B, в значительных количествах - Li, Rb, I, Ba. Очень низкая концентрация - на уровне рассеянных элементов - у железа и алюминия.

Таблица

Химический состав океана, %

Элемент	Содержание	Элемент	Содержание
Cl	2,1-1,7	Ca	$6,4^{-2}$ - $3,8^{-2}$
Na	1,7-0,9	Br	$7,1^{-3}$ - $4,2^{-3}$
O	$2,0^{-1}$ - $1,1^{-1}$	C	$4,8^{-3}$ - $2,6^{-4}$
Mg	$1,5^{-1}$ - $9,1^{-2}$	N	$2,3^{-3}$ - $1,0^{-5}$
S	$1,0^{-1}$ - $6,8^{-2}$	Rb	$1,4^{-3}$ - $2,0^{-5}$
K	$1,0^{-1}$ - $6,8^{-2}$	Sr	$1,4^{-3}$ - $1,3^{-3}$

Происхождение гидросферы Земли. В основе современных взглядов на эволюцию гидросферы лежат идеи В. И. Вернадского о магматическом происхождении океанических вод и ведущей роли живого в детерминации их химических свойств. Океан, как продукт эндо-генных процессов, мало менялся с архейских времен. Главные параметры океана установились в раннем архее, а дальнейшие преобразования шли в пределах, в которых могли существовать и эволюционировать организмы.

В. Г. Горшковым (1995) предложена гипотеза о биогенном происхождении гидросферы Земли. Огромные запасы воды в биосфере отличают Землю от остальных планет Солнечной системы. Вода со-

средоточена главным образом в мировом океане, содержащем $1,4 \cdot 10^9$ Кт H_2O . Процессы поступления H_2O в гидросферу из земных недр с современной скоростью могут быть ответственны только за появление не более десятой части современной гидросферы. Осадочные породы имеют толщину порядка 2 км. Относительное содержание H_2O из риф-товых зон и вулканов, формирующих осадочный слой и гидросферу, не превышает 10%. Не меньшей должна быть и доля воды в обратном

потоке вещества в земные недра. Следовательно, средняя толща гидросферы не должна превышать 10 % толщи осадочного слоя, т.е. 200 м (вместо необходимых 2 км).

Многие биохимические реакции протекают с образованием свободной воды. Современная продукция биосферы составляет 200 Гт/год живой (сырой) массы, половина которой - органический углерод. Если предположить, что палеобиосфера имела тот же порядок продукции и только 1% этой продукции составлял синтез свободной H_2O (из CH_4 и CO_2), то вся гидросфера Земли могла быть образована живым веществом менее чем за 10^9 лет, т.е. за время, которое составляет четверть времени существования жизни. Следовательно, вся гидросфера Земли могла быть сформирована около $3 \cdot 10^9$ лет назад, в соответствии с геологическими данными. Впоследствии биохимические реакции могли измениться и принять современный вид.

Проблема происхождения океана, эволюции его солевого состава чрезвычайно сложна и дискуссионна. В результате различных круговоротов один и тот же атом многократно поступал в океан, осадочные породы, магму, изверженные породы и т.д.

В современном океане поступление веществ в общем уравновешено процессами их удаления в осадки дна и атмосферу. Однако за время геологической истории состав океана менялся. А. П. Виноградов (1989) признавал влияние жизни на стабилизацию современных химических свойств мирового океана. Об этом свидетельствует тот факт, что они сформировались одновременно с завершением формирования главных типов организмов (3 млрд-600 млн лет назад). Первичный океан, по А. П. Виноградову, образовался в результате дегазации мантии свыше 4 млрд лет назад, когда возникла и твердая земная кора - продукт выплавки из мантии основных изверженных пород. Кислотные вулканические дымы (HCl , HF и др.), растворяясь, определяли сильнокислую реакцию океанических вод. Первичный океан был кислым, хлоридным и восстановительным.

Нейтрализация кислот гидросферы происходила за счет взаимодействия с силикатными породами ложа океана. Кроме того, на поверхности островов происходило выветривание и образование растворов карбонатов калия, кальция, магния, натрия и солей SiO_2 , Al , Fe . В океане они вступали в реакцию со свободными кислотами. Так постепенно кислотность гидросферы падала, воды становились хлоридными. Отличительной особенностью воды была обогащенность хлоридами алюминия, железа и других тяжелых металлов.

В археозойском этапе развития гидросферы после исчезновения сильных кислот появилась возможность прогрессивного накопления

карбонатных солей. Так как кислорода было мало, то это приводило к большому разнообразию карбонатов, не только Ca , Mg , Na , но и Fe , Mn . Воды становятся хлоридно-карбонатными.

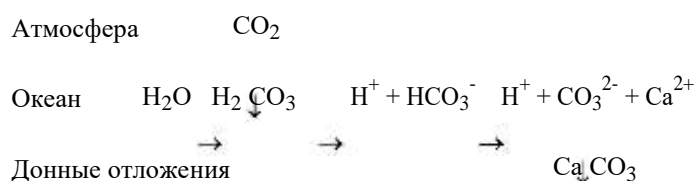
Новым качественным этапом эволюции гидросферы было зарождение живых организмов. Появление в растворе воды океана органических сложных соединений, а затем простейших организмов произвело первый глубокий переворот в составе океана и процессах происходящих в нем. Растворимость многих неорганических соединений, взвесей, стабилизировалась органическими соединениями; изменился характер транспорта взвесей и солей в донных отложениях. Толща океанической воды разделилась на слои - активный, средний, глубокий.

Особое значение имело возникновение фотосинтеза. Гидросфера теряла углекислый газ и обогащалась кислородом. Окислительно-восстановительный потенциал возрастал, из-за потери CO_2 воды становились нейтральными. Самородная сера и сероводород в условиях обилия кислорода переходили в сульфатную форму. Серная кислота реагировала с растворенной углекислотой, вытесняя CO_2 . На протерозойском этапе эволюции воды превратились в хлоридно-карбонатно-сульфатные с повышенным окислительно-восстановительным потенциалом и рН, близким к нейтральной точке. Подвижность многих элементов, особенно Fe , Al , Mn , тяжелых металлов, резко сократилась.

Развитие жизни на планете сопровождалось дальнейшим падением доли углекислого газа в атмосфере и гидросфере и привело к защелачиванию океанических вод. Доля карбонатов упала до 0,21 %, океаническая вода становится хлоридно-сульфатной. Fe, Mn, Cu были практически изгнаны из состава воды, другие элементы с переменной валентностью (V, Cr) присутствовали в ней только в окисленной форме.

Таким образом, эволюция жизни вела к смене первичной восстановительно-глеевой обстановки на окислительную, к постепенному уменьшению кислотности вод и соответствующему возрастанию их щелочности. Первичный океан постепенно терял часть элементов каменногенного происхождения. Менялись миграционные формы таких элементов, как сера, азот, железо. Для серы главной формой миграции стали сульфаты, для железа - Fe^{3+} , для азота - N_2 , NO_3 . Повысилась подвижность кальция и магния. Происходило осаждение труднорастворимых солей, биогенных карбонатов кальция и магния. Окисление сульфидов до сульфатов обусловило переход океанических вод к современному хлоридно-сульфатному типу.

Интенсивный обмен CO_2 на поверхности Земли при участии организмов не только стабилизировал активную реакцию воды океана, но и создал буфер, обеспечивающий эту стабильность pH океанической воды:



Величина pH океанической воды изменяется в диапазоне 7,5-8,5. Повышение концентрации CO_2 ведет к уменьшению pH воды океана. Более высокие значения pH наблюдаются в поверхностном слое, а более низкие - в придонных слоях воды океана. В поверхностном активном слое океана идет интенсивное потребление CO_2 и продуктов ее диссоциации фотосинтезирующими организмами. Концентрация CO_3^{2-} в верхних слоях мощностью 200 м ничтожно мала и далее, в более глубоких слоях, несколько увеличивается. В глубоких слоях преобладает H_2CO_3 . Содержание HCO_3^- медленно нарастает (на глубине активного слоя от 0 до 200 м), а затем остается почти без изменений в более глубоких слоях. Равновесие CO_2 в атмосфере и гидросфере направлено на уменьшение содержания газообразной углекислоты в гидросфере и атмосфере, на ее исчерпание из этих бассейнов, перевод в твердые осадки - карбонаты. Этот направленный механизм действует непрерывно на всем протяжении геологической истории Земли.

Таким образом, А. П. Виноградов показал существенную роль жизни в формировании химического состава гидросферы в докембрии. Современный этап развития гидросферы начался в палеозое, для него характерна ведущая роль живого вещества в геохимии океана.

Н. М. Страхов (1963) в основном был согласен с гипотезой Виноградова, но полагал, что эволюция гидросферы захватила и весь фанерозой. Он выделял четыре этапа в эволюции океана: азойский, археозойский, протерозойско-рифейский и исторический (фанерозойский). Основные события этой эволюции, по его мнению, были связаны с живым веществом. Увеличение биомассы в фанерозойских биосферах вело к использованию целого ряда минеральных компонентов для внутриклеточного метаболизма организмов, построения их металл-органических соединений, образования различных внутренних и внешних скелетов. Это особенно справедливым казалось ему относительно меди, ванадия, железа, кремнезема, карбонатов кальция и магния, фосфатов, барита, подвижность и концентрация которых в гидро-

сфере менялись в течение всего фанерозоя. Также непрерывно увеличивалась щелочность вод.

Колебания солености океана были связаны с эпохами галогенеза, начавшимися уже с нижнего кембрия. В полуизолированные заливы, краевые участки морей, в огромные внутриконтинентальные моря

не-прерывно поступала океаническая вода, испаряясь, отлагала разнообраз-ные соли, чаще всего, по-видимому, сульфаты кальция, реже, но в большем количестве хлориды натрия, еще реже и меньше - хлориды и сульфаты калия и магния. Тем самым извлекались и захоронились в составе осадочных пород колоссальные массы солей. На составе океана это сказывалось рассолонением. Изменялись не только соленость океана, но и, по-видимому, соотношения между отдельными солевыми компонентами.

На состав океана в фанерозое, по-видимому, влияла интенсивность процессов вулканизма и оледенения, извлекавших огромные массы воды (в ледниковые эпохи четвертичного периода уровень Мирового океана понижался на 100 м).

В целом можно сказать, что масштабы изменений гидросферы, основные этапы и тенденции ее развития остаются все еще не выясненными. Имеющиеся геологические факты допускают разные интерпретации этих процессов.

Биокосная природа современного океана. Основную приходную статью баланса растворенного вещества в океане, по Р. Гаррелсу и Ф. Маккензи, составляет речной сток, с которым не могут конкурировать льды, подземный сток, глубины Земли, морская эрозия, аэрозоли, пыль, внеземные источники (рис. 7). Если исходить из современного речного стока, то те соли, которые содержатся в океане, были привнесены в него меньше чем за 100 млн лет. Однако наряду с привнесом происходит и удаление элементов, главным образом в илы, а для Cl, Br, S, I и других также в атмосферу при разбрызгивании, испарении, подъеме к поверхности пузырьков газа. В океане работает грандиозная система динамического равновесия - донные отложения океана, солевой раствор, живое вещество, газы атмосферы.

В океанической воде растворены газы, ионы, органическое вещество, минеральные и органические коллоиды, содержатся взвеси и живые организмы. Объем растворенных газов в океане в 3 раза больше, чем объем самой воды. В основном это CO₂, в меньшей степени - N₂, O₂ и Ar. Средняя соленость океана - 3,5%, это раствор поваренной соли с примесью других элементов (0,5 %).

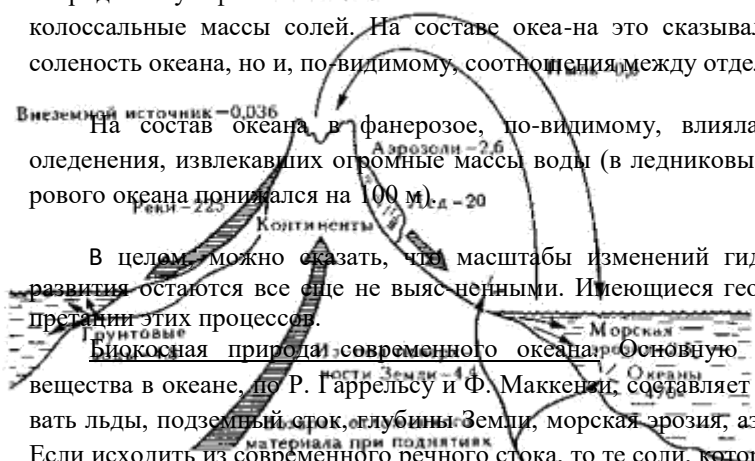


Рис. 7. Круговорот веществ в океане. Масса веществ в микрогеограммах - 10^{14} г (по Р. Гаррелсу и Ф. Маккензи)

Фитомасса океана близка к $1,1 \cdot 10^9$ т, на 70% она состоит из диатомей. Зоомасса составляет $2,89 \cdot 10^{10}$ т, т.е. в отличие от материков в океане в 30 раз больше животных, чем растений (Перельман, 1989). При незначительной биомассе скорость биологического круговорота здесь исключительна, роль его в геохимии океана очень значительна. Особенно это относится к C, O, N, P, K, Ca и другим макроэлементам биологического накопления. Многие организмы концентрируют из морской воды и микроэлементы (при расчете на сухое вещество). На-пример, водоросли ламинарии накапливают I, радиолярии Acantharia - Sr,

фораминиферы - Ва, некоторые моллюски - Ni, омары и мидии - Со, медузы - Zn, Sn, осьминоги - Си, асцидии - V, некоторые другие виды оболочников - Nb, Та.

Океан включает в себя водную толщу и дно. Планктонная пленка жизни включает существа, пассивно взвешенные в воде и неспособные противостоять течению. Совокупность автотрофных планктонных организмов называют фитопланктоном, гетеротрофных - зоопланктоном. Фитопланктон - в основном одноклеточные водоросли и фотосинтезирующие бактерии (70% одноклеточных - это диатомовые водоросли).

Зоопланктон - преимущественно мелкие рачки "криль". Плотность такова, что 9/10 поедается раньше, чем наступает естественная смерть. Количество организмов достаточно быстро убывает с глубиной: в поверхностном слое в 1 л содержится 10147 особей, на 50 м - 9443, 100 м

- 2749. Здесь синтезируется автотрофное живое вещество, которое кормит весь океан, накопленная им энергия является энергетическим источником всех биогеохимических процессов, происходящих в океане. Ежегодно фиксируется около 10^{17} г углерода CO_2 (Виноградов, 1989). Это поставщик будущих горных пород, около 1% органического углерода погребается в донных отложениях ежегодно, надолго исчезая из биосферного цикла углерода. Были составлены карты распределения первичной продукции и биомассы живого вещества. Оказалось, что продуктивность океана не достигает $0,5 \text{ г/м}^2$, что соответствует продуктивности полупустыни.

Наиболее крупным по масштабу процессом в океане является процесс регулирования концентрации кальция. В активном слое океана разыгрываются процессы перенасыщения $CaCO_3$. В результате ежегодно в виде карбонатных скелетов морских животных откладывается в донных отложениях 10^{15} г/ CO_2 , или $2,5 \cdot 10^{14}$ г/С. На рис. 8 представлена схема биогеохимических процессов в фотосинтезирующем слое воды морей и океанов по Е. М. Емельянову.

Эксперименты и расчеты К. Краускопфа показали, что морская вода не насыщена большинством микроэлементов, поэтому главную роль в удалении металлов из морской воды играют биогенная аккумуляция и сорбция.

Главная форма нахождения взвешенного осадочного материала в центральных частях океана - биогенная. А. П. Лисицын и другие установили механизм транспортировки взвешенного материала на дно океана. Он связан с фильтрацией океанических вод через зоопланктон в процессе питания. Объем наиболее заселенных вод океана (до глубины 500 м) зоопланктон отфильтровывает за 20 суток. При этой биофильтрации органические и минеральные микровзвеси концентрируются в фекальных комках - пеллетах размером от нескольких десятков микрометров до 1-2 мм. Скорость оседания пеллетов на 3-4 порядка выше, чем у исходных частиц.

Под органическим веществом океанов и морей понимают всю сумму растворенных органических веществ, коллоидов и взвесей органического характера. Происхождение органического вещества связано с первичным образованием органического вещества в активной зоне океана и с приносом органических веществ с континентов, главным образом почвенного гумуса. Масса органического вещества обра-

зуется в результате гибели прежде всего бактерий и планктонных организмов. Оно связывает и осаждаёт многие металлы. Количество растворенного органического вещества в океанах и морях в несколько раз больше по массе, чем живого вещества - всей совокупности живых организмов, населяющих океан (табл. 7).

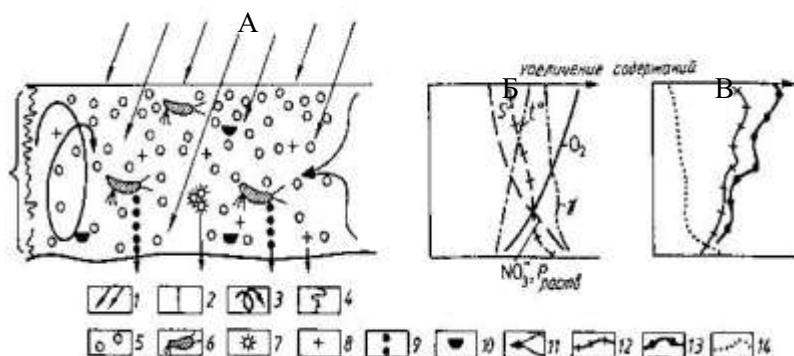


Рис. 8. Схема биогеохимических процессов в фотосинтезирующем слое мор-ской воды (по Е. М. Емельянову): А – общая схема биохимических процессов: 1- солнечная радиация, 2 - фотосинтезирующий слой воды, 3 – интенсивное разнонаправленное перемешивание вод, 4 – микротурбулентность, 5 – фито-планктон, 6 – зоопланктон, 7 – «падающие» раковинки зоопланктона, 8 – «дождь» органического детрита, 9 – фекальные комки, 10 – хлопья гидроксидов железа и марганца, 11 – интенсивное извлечение из воды С, Si, Р, N, Na, К, Са, Mg, Fe, Mg, Zn, Ni, Cr, Al, Ti и других элементов и их удаление из этого слоя фекальными комками, органическим дентритом, раковинками и гидроксидами Fe, Mn; Б – распределение температуры, солёности S, плотности γ , кислорода O_2 , фосфора растворенного P_{раств} и нитратов NO₃ в слое фотосинтеза; В – распределение количественного содержания, 12 – фитопланктона,

– взвеси, 14 – бактериопланктона в слое фотосинтеза

Таблица

Живое и растворенное органическое вещество в океане,

С_{орг.}, т (Успенский, 1956)

Группы организмов	Автотрофы	Гетеротрофы	Растворенное органическое вещество
Бентос	$0,41 \cdot 10^9$	$0,78 \cdot 10^9$	$1301 \cdot 10^9$
Планктон	$0,27 \cdot 10^9$	-	-

Под планктонной пленкой находится водная зона, в которую по-падает только четвертая часть органического вещества, синтезированного в пленке. Гетеротрофные организмы питаются детритом - неживым органическим веществом, или являются хищниками. Это транзитная зона, в ней биогенное вещество не накапливается. Воды этой зоны обогащены продуктами минерализации органических веществ - азотом, фосфором, углекислым газом. Океан - регулятор CO₂ атмосферы (установлено Т. Шлезингом в XIX веке), в нем растворено примерно в 60 раз больше CO₂, чем его содержится в атмосфере. Содержание CO₂ зависит от биологического круговорота. Фотосинтетически активный слой воды, обогащенный кислородом и обедненный углекислым газом, является препятствием для уравнивания концентраций CO₂ в атмосфере и водной толще океана.

В донной пленке жизни живет 157 тыс. из 160 тыс. видов морских животных. Скопление здесь жизни связано с наличием дна, задерживающего то, что не успели съесть раньше, кроме того, дающего укрытие. Илоеды питаются детритом (черви, голотурии, морские ежи, морские звезды и др.). Многие животные механически перерабатывают донные осадки (головногие, моллюски, высшие раки, камбала и др.). Детрит постепенно убывает из ила, зато грунтовые растворы обогащаются продуктами распада: CO₂, H₂S, H₂, NH₃; pH падает, O₂ исчезает, среда становится восстановительной (Eh - отрицателен). В донных отложениях замуровывается то, что ускользнуло от биологического круговорота.

На океаническом дне открыты крупные залежи железомарганцевых конкреций. В среднем они содержат 20 % Mn, 16 % Fe, 33 % Co, 0,6 % Ni, 0,35 % Cu, и т.д. Запасы конкреций ($2,5 \cdot 10^{12}$ т) на два по-

рядка превышают суммарные запасы руд железа и марганца на континентах. Грандиозны запасы Co, Ni, Cu. Условия образования конкреций выяснены еще недостаточно. С органическим детритом, скелетами

диатомовых водорослей и костями рыб концентрируются Fe, Cu, Zn, Mn, Ni, Mo, Ba и другие элементы, которые частично накапливаются в илах. По-видимому, по аналогии с илами озер определенную роль в образовании конкреций играют микроорганизмы. Низшие организмы концентрируют в процессе жизнедеятельности не только Ca, Si, P, а практически все химические элементы, рассеянные в морской воде. Известны виды, концентрирующие Co, V, Cu, Mo, Ag, Sb, W, Hg, Pb и др. на несколько порядков выше, чем их содержится в океанической воде. Это один из мощных видов транспорта этих элементов в донные отложения - непосредственно или через пищевые цепи.

В прибрежных сгущениях жизни встречаются планктонная и донная пленки жизни, сочетаются солнечный свет и твердый субстрат, сюда поступают минеральные и органические вещества континентов. Происходит интенсивное перемешивание вод, позволяющее многократно использовать элементы. Здесь обилие многоклеточных организмов со скелетом из карбоната кальция, скапливаются ракушки. Второе сгущение жизни в океане - это саргассы; биомасса Саргассового моря составляет примерно 1 % биомассы автотрофов океана. Третье сгущение жизни - рифовое, на участках подъема глубинных вод, обогащенных фосфором и азотом (рис. 9).

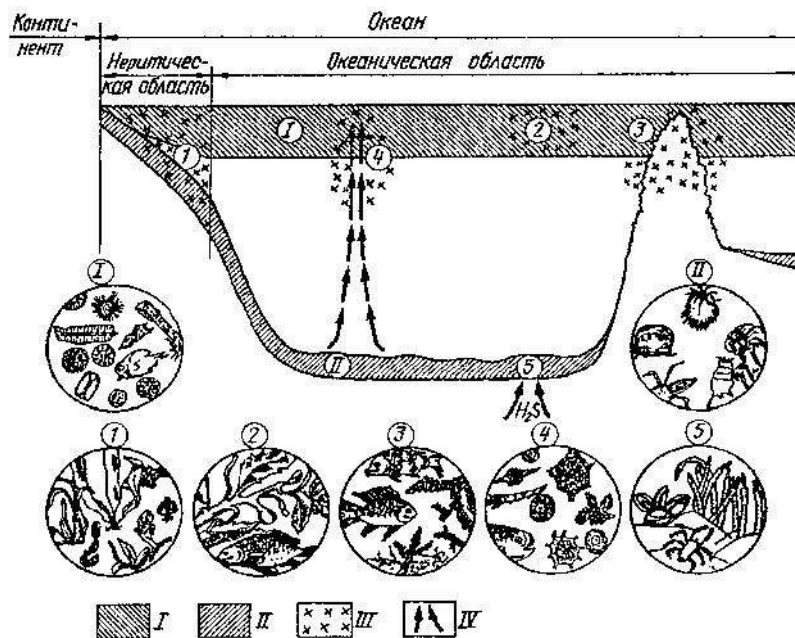


Рис. 9. Экогоризонты, концентрации и разряжения жизни мирового океана: I – планктонная форма жизни; II – донная форма жизни; III – сгущения жизни: 1 – прибрежное, 2 – саргассовое, 3 – рифовое, 4 – анвеллинговое, 5 – абиссальное рифовое; IV – подъем глубинных вод (по Лапо, 1987)

Накопление биогенного вещества в осадочных отложениях океана контролируется тремя типами зональности: климатической, вертикальной и циркумконтинентальной (рис. 10). Особенно климатической: в холодных умеренных зонах организмы мобилизуют в основном кремнезем, в аридных - карбонаты, в экваториальной гумидной - карбонаты и кремнезем. Вертикальная зональность накопления осадков определяется положением критической глубины, ниже которой вследствие высокого давления и низкой температуры растворяются карбонатные скелеты (карбонатных отложений нет на глубинах более 4-5 км). Циркумконтинентальная зональность выражается в изменении состава осадков по мере удаления от континентов.

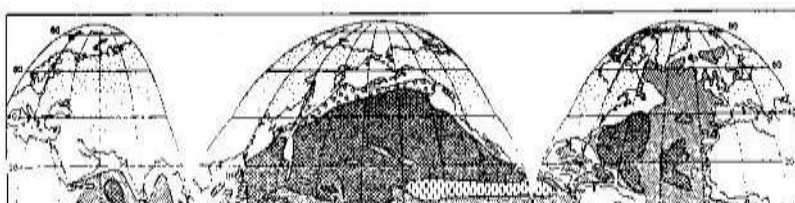


Рис. 10. Распределение различных типов пелагических донных отложений океанов: 1 - суша, 2 – терригенные осадки, 3 – красные глины; из-вестковые илы: 4 - глобигериновый, 5 – птероподовый; кремнистые илы: 6 – радиоляриевый, 7 – диатомовый

Биогенные механизмы регуляции кругооборота воды. Современ-ные запасы воды в океане намного порядков превосходят запасы ор-ганического вещества. Испарение воды в океане не может регулиро-ваться биологически. Время оборота атмосферной влаги - 10 дней (от-ношение атмосферного запаса влаги к величине испаряемости). В океане величина испаряемости превышает величину осадков. Разница

в потоках воды переносится на сушу, где потоки осаждаются и стека-ют в океан в виде речного стока, эта часть также в среднем не может регулироваться биологически. Однако на суше есть собственный замкнутый оборот воды.

Образование растительного покрова и почв увеличивает испаре-ние с суши. Вода на суше является биологически накапливаемой. Со-гласно измерениям в настоящее время осадки в среднем втрое превы-шают речной сток, одна треть из них переносится с океана, а 2/3 обес-печиваются замкнутым круговоротом воды суши. По В. Г. Горшкову (1995), эта главная часть водного режима суши формируется и регули-руется живыми организмами.

Обычно считается, что водный режим континентов полностью определяется регулярными циркуляционными воздушными потоками

в атмосфере, которые зависят от широтного и сезонного распреде-ления солнечной радиации, рельефа материков, относительного распо-ложения материков и океанов. Однако данные о распределении сол-нечной энергии показывают, что мощность регулируемого растениями испарения (транспирации) превосходит мощность диссипации ветро-вой энергии всей Земли. Циркуляционные потоки в атмосфере типа циклонов и смерчей вызываются энергией скрытой теплоты парообра-зования при конденсации атмосферной влаги. Таким образом, с энер-гетической точки зрения изменение режима транспирации у растений может изменить режим циркуляции воздуха и связанный с ними ре-жим осадков на Земле.

Суммарная поверхность листьев растений превосходит поверх-ность почв в несколько раз (в лесах - в 10 раз, на суше - в среднем в 5 раз). В природных лесных экосистемах 90% солнечной энергии затра-чивается на транспирацию, а в преобразованных человеком агросисте-мах всего 40 %. Воздействие человека на естественные леса в глобаль-ных масштабах за всю историю могло уменьшить испарение влаги на континентах в 2 раза. Это могло существенно изменить циркуляцию потоков в атмосфере и уменьшить в несколько раз величину осадков на значительной части суши.

4.4. Эволюция земной коры и верхней мантии

4.4.1. Изменение осадкообразования в связи с эволюцией жизни

Земля состоит из тонкой коры, мощной мантии и центрального ядра (из металлического железа с никелем). Под земной корой пони-мается верхний слой твердого тела Земли, расположенный выше сейс-

мической границы Мохоровичича. Кора имеет диссимметричное строение, мощность ее повышена в области континентов и понижена в рай-

оне океанов. Континентальная кора характеризуется средней мощностью 35 км. Р. Дейли на основании геологических и петрографических данных выделил верхний слой, богатый гранитными породами, и нижний, который служит источником базальтовой магмы. На дне океанов, за исключением краевых частей, гранитный слой отсутствует и земная кора состоит только из базальтового слоя (рис. 11). Мощность океанической коры составляет 5-7 км.

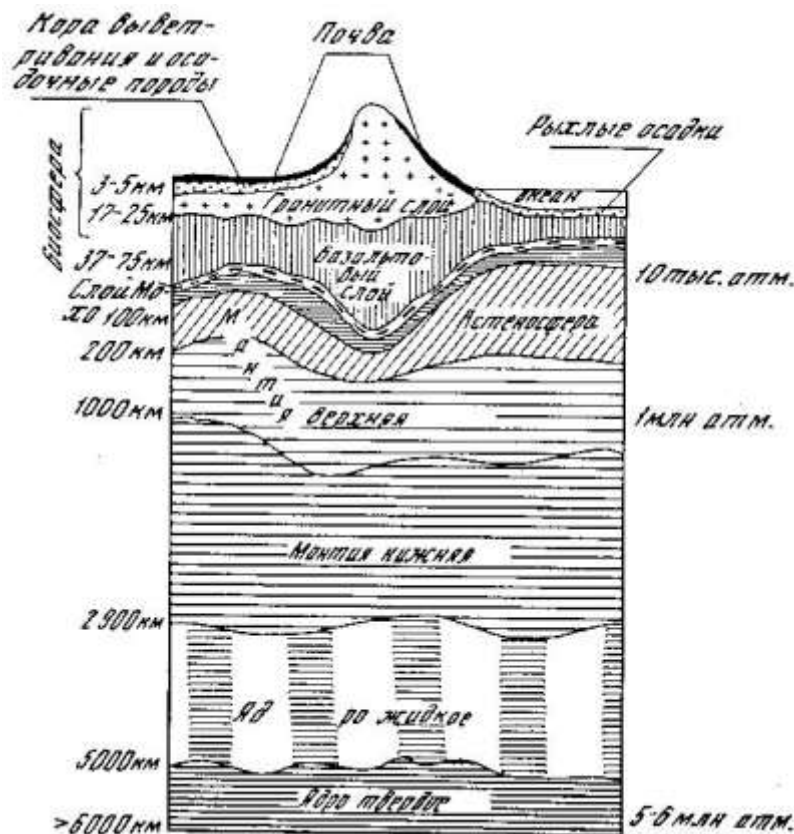


Рис. 11. Схема строения земной коры (по Ковде, 1985)

Радиоактивный разогрев мантии, тектонические разрывы земной коры, вулканизм нередко вели к излияниям базальтовых лав, переплавлению осадочных пород, образованию гранитов и гнейсов, выходу на поверхность ювенильных паров и масс воды, газов, растворов. Образование гор, вулканизм, остывание лав, движение водных и воздушных масс, физико-химическое выветривание и растворение минералов магматических пород под воздействием углекислоты были первыми процессами образования осадочных пород. Продолжительность стерильного периода в истории Земли оценивается временем, равным 1-2 млрд лет. Это был период первоначального абиотического образования механических и химических осадочных пород, толщ вулканических песков, известняков, кварцитов, кремниевых отложений сланцев. Мысль об эволюции биогенного осадкообразования была высказана в 1893г. И. Вальтером. Но его идея практически не использовалась геологами.

1908 г. в труде В. И. Вернадского «Опыт описательной минералогии» содержались краткие указания на минералы, образовавшиеся благодаря жизнедеятельности организмов. Понятие о биосфере Вернадский сформулировал как «особую охваченную жизнью оболочку Земли», он писал, что в биосфере «мы не можем различать два типа вещества - косное и живое», а должны рассматривать их как единое взаимосвязанное целое. На этой основе он показал огромную геологическую роль живого вещества: «На земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным целям, чем живые организмы, взятые в целом»; «все бытие земной коры, по крайней мере 90% по весу массы

в вещества, в своих существенных с геохимической точки зрения чертах обусловлено жизнью».

Советскими биологами в 20-30-е гг. даже после работ Вернадского идея о роли жизни в геохимических и геологических процессах оценивалась скорее скептически. Было время увлечения физико-химическими концепциями литогенеза. Однако за период 20-60-х гг. приводились все новые и новые доказательства роли организмов и продуктов их жизнедеятельности в процессах осадконакопления, породообразования и их эволюции.

Важнейшим событием в разработке проблемы воздействия эволюции органического мира на геологические процессы стала V сессия Всесоюзного палеонтологического общества, состоявшаяся в 1959 г. На ней в многочисленных докладах была рассмотрена роль живого вещества в формировании земной коры в целом, в образовании карбонатных пород, каустобиолитов, железных и марганцевых руд, фосфо-

ритов, бокситов, аллитов, в подготовке исходного вещества для образования глинистых пород.

Н. М. Страхов, обобщая факты советской и зарубежной науки, создал первую общую теорию литогенеза и эволюции литогенных процессов. Он показал, что наиболее достоверные следы эволюции осадкообразования связаны с эволюцией организмов и ее влиянием на литогенез (Страхов, 1963). В архее осадкообразование было одностадийным доломито-джеспелитовым с закисными формами первичного отложения поливалентных элементов. Доломиты осаждались чисто химическим путем. Кремний, железо, марганец накапливались на дне отдаленных от берега территорий морей и океанов; скорее всего это были джеспелиты, тонкослоистые илы, в которых слои кремнезема чередовались со слоями железистых минералов - сидеритом, лепто-хлоритом.

Начиная с середины протерозоя хемогенный литогенез постепенно сменился биогенным. Факторами этой замены были все усиливающаяся фотосинтезирующая деятельность растений, рост общей биомассы в связи с освоением жизнью прибрежных участков морей, выходом ее на сушу и включением все большего числа химических элементов и соединений в процессы метаболизма. Вначале влияние жизни было косвенным - из-за повышения окислительно-восстановительного потенциала и приближения рН к нейтральным значениям, что привело

к снижению подвижности Fe, Mn, Al, Cu, Ni, Co, которые стали перемещаться лишь в составе комплексных органических соединений или взвесей. Их осаждение стало происходить преимущественно в прибрежных районах в форме окиси. К концу протерозоя резко сокращается хемогенное образование доломитов, которое в дальнейшем стало преимущественно биогенным за счет вноса некоторыми организмами в осадок карбоната магния. Все более вытесняется и хемогенное образование CaCO_3 . В отличие от одностадийного закисно-доломито-джеспелитового литогенеза в архее в протерозое осадкообразование приняло стадию двустадийного окисно-закисного-доломито-джеспелитового. В прибрежной зоне соединения железа, марганца и других элементов накапливались на дне в окисленной форме. Но в более глубоких горизонтах осадка в присутствии разлагающегося органического вещества опять переходили в закисные соединения, формируя карбонаты, сульфаты, силикаты. Органическое вещество, хоть и в небольших количествах, становится обязательным компонентом осадочных пород (от долей процента до одного процента).

Позднее жизнь стала оказывать прямое влияние на процессы литогенеза, а эволюция состава породообразующих остатков организмов

стала отражаться на изменении химических свойств осадков, минеральных и петрографических особенностях пород. Появляются новые типы минералов (глаукониты, фосфориты, органогенные известняки, биогенные кремнистые породы и др.). Хемогенное осаждение карбонатов, силикатов вытесняется биогенным. Диапазон осадкообразования все расширялся, и в осадки биогенным путем

вовлекались все бо-лее растворимые соединения. Этап развития литогенеза - начиная с кембрия и доныне - назван двустадийным закисно-окисным углисто-карбонатно-галогенным осадкообразованием , протекавшим под непо-средственным, прямым воздействием живого вещества.

Работы Н. М . Страхова - наиболее всесторонняя и хорошо обос-нованная попытка создать общую концепцию литогенеза и геохимиче-ских процессов в осадочной оболочке Земли под влиянием историче-ских преобразований живого. Концепция эволюции литогенеза полу-чила дальнейшее развитие в трудах А. В. Лапо, Н. Н. Верзилина, А. Л. Яншина, А. В. Сидоренко и др.

А. В. Сидоренко (1984) развивает идеи В. И. Вернадского о глу-бокой древности осадочных пород. Им показано , что нынче осадочные породы установлены начиная с 3,8 млрд лет. На всех щитах открыты и изучены осадочные породы, в той или иной степени метаморфизиро-ванные. В докембрии открыты те же осадочные породы, что и в фане-розое. Пород, которые отвечали бы другим условиям седиментации, другим типам атмосферы и гидросферы, не обнаружено. Доказано, что основой докембрийских щитов являются метаосадочные породы, а былую гранитную оболочку Земли следует трактовать как древней-шую осадочно-метаморфическую оболочку континентальной земной коры, в которой магматические породы имеют подчиненное положе-ние.

Когда-то Вернадский сказал, что «граниты - это бывшие биосфе-ры», но это было только научным предвидением. Специально постав-ленные исследования распространения элементарного углерода, гра-фита, графитоида, шунгита и т.п. в первично -осадочных метаморфизи-рованных породах показали, прежде всего , их биогенный характер. Приведем данные по среднему содержанию органического углерода в земной коре, % (цит. по Войткевич Г.В. и др., 1983):

Ф. Кларк, Г. Вашингтон (1927)	0,087
А. Е. Ферсман (1933-1939)	0,35
А. П. Виноградов (1962)	0,023
С. П. Тейлор (1964)	0,002
А. Б. Ронов, А. А. Ярошевский (1976)	0,07

107

Ряд геологических эпох на нашей планете особенно богат остат-ками былого живого вещества: 2800 -2600 млн лет назад, 2100-1700, 1000-900, 750-700, 650-550, 440-410, 350-290, 190-170, 50-25 млн лет назад. Образования этих эпох известны геологам как черносланцевые и угленосные формации.

По данным Н. Б. Вассоевича (1973), общее содержание органиче-ского углерода оценивается в $7,2 \cdot 10^{15}$ т (табл. 8). Средний коэффици-ент fossilization органического вещества (отношение количества захороненного органического вещества к ежегодно продуцируемому) составляет 0,8 %. Принимая указанную величину коэффициента фос-сильзации, получили начальную массу органического углерода - $9 \cdot 10^{17}$ т. Общая масса осадочных пород в континентальном секторе стратисферы оценивается величиной $14 \cdot 10^{17}$ т. Если учесть, что в приведенных расчетах учитывается только содержание органического углерода, хотя и преобладающего, но отнюдь не единственного из хи-мических элементов органического вещества, а также то, что коэффи-циент fossilization не включает возможную величину потерь органи-ческого вещества в катагенезе, можно придти к выводу: количество органического вещества вполне соизмеримо и, возможно, равно массе осадочных пород планеты.

Таблица

Содержание органического углерода в осадочных породах континентов (Вассоевич, 1973)

Осадочные породы			C _{орг}			
Типы	До- ля, %	Общая масса, 10 ¹⁶ т	Содержание в породе		Общая масса	
			%	кг/м ³	10 ¹⁴ т	%
Глинистые	51,4	60	0,90	19-23	54	75,00
Алевритовые	16,3	19	0,45	9,5-11	8,5	11,8
Песчаные	13,7	16	0,20	4-5	3,2	4,44
Карбонатные	18,0	21	0,20	5-5,5	4,2	5,83
Соль, сульфаты	0,3	0,4	0,10	2-2,3	0,04	0,06
Угли	-	0,003	67,0	900-1200	0,2	0,28
Горючие сланцы	0,3	0,0036	16,5	350-450	0,06	0,08
Доманикиты и баженовиты	-	0,3	6,0	140-150	1,8	2,5
Сумма	100	116,7	0,62	14-15	72,00	100

108

Широкое распространение биогенного углерода в докембрии за-регистрировано в породах всех возрастов и всех щитов мира. Количество биогенного углерода в породах докембрия аналогично фанерозойным. Среднее содержание элементарного углерода колеблется от 0,1 до 5-7%. Много рассеянного углерода, но встречаются горизонты с содержанием углерода до 20-30% и мощностью в десятки метров. Следовательно, живое и органическое вещество существовало по меньшей мере более 3,5 млрд лет назад, это вплотную приближается к возрасту древнейших осадочных пород (возраст в 3,8 млрд лет). Причем в докембрии, учитывая его объем и продолжительность, было накоплено осадочного элементарного биогенного углерода во много раз больше, чем органического углерода в толщах фанерозоя.

Ранее считалось, что в древнем архее в углекислой атмосфере не могло быть карбонатов. Теперь карбонаты для докембрия такие же обычные породы, как и для фанерозоя. Углерод карбонатных пород докембрия подтверждает их биогенную природу: имеется устойчивое значение изотопного состава углерода карбонатного и органического ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 92-94$). Устойчивое равновесие двух форм углерода земной коры могло возникнуть лишь при непосредственном участии живых организмов. Подтверждением раннего развития биосферы ряд авторов считают изотопные отношения ^{12}C и ^{13}C в углеводородах больших глубин земной коры в сравнении с мантией. Процесс обогащения биогенных продуктов (осадков, углей, почв, гумуса) более легкими изотопами углерода прослеживается через всю историю посткембрийских осадочных пород и особенно в современных биогенных осадках и почвах.

Стационарная величина разницы $C_{\text{орг}} - C_{\text{карб}} = 27\%$ является важнейшей планетарной биогеохимической константой. Это отношение между углеродом органических соединений и углеродом

карбонатов в осадочных породах свидетельствует, во-первых, о существовании 3,5 млрд лет назад взаимодействующей системы подвижных геосфер земной коры (атмосферы - гидросферы - стратисферы - биосферы). Во-вторых, оно указывает на то, что в изотопном и геохимическом отношении эта система находилась в состоянии, близком к современному. В-третьих, эта константа служит своеобразной мерой глобального действия механизма, обеспечивающего устойчивость геохимического цикла углерода в земной коре.

Стационарное равновесие углерода земной коры указывает на то, что образование подвижных оболочек Земли должно было произойти до раннего докембрия, т.е. до рубежа в 3,5 млрд лет назад, так как

только в этом случае биосфера и осадочные процессы могли получить необходимое время для своей эволюции.

Аналогичное доказательство дает и геохимия изотопов серы. Изотопный состав осадочных сульфатов ($^{32}\text{S}/^{34}\text{S} > 22$) раннедокембрийских образований свидетельствует о том, что устойчивая кислородная атмосфера существует на Земле несколько миллиардов лет. Основой фактов в изменении изотопного состава серосодержащих пород является восстановление сульфатов бактериями, которое приводит

к увеличению содержания ^{32}S в сульфидах и увеличению содержания ^{34}S в остаточных сульфатах.

А. В. Сидоренко (1984) считает, что существенным вкладом в учение о биосфере является бесспорное геологическое доказательство древности жизни и ее одновременности с возрастом экзогенных пород на всем протяжении геологической истории земной коры. Исключительные масштабы, глубина и динамика воздействия живого и органического вещества на минеральную составляющую или косную материю, как писал Вернадский, позволяют предположить «биогеологический механизм» трансформации, переработки вещества наружной части Земли. Развитие и эволюция биосфер - это развитие и эволюция земной коры.

А. В. Сидоренко дает следующее определение биосферы: биосфера - это глобальное биогеологическое явление, действующее на протяжении геологической истории Земли как многокомпонентная система минеральной, жидкой и газообразной частей планеты, пронизанная живым веществом и продуктами его жизнедеятельности, отмирания и преобразования, находящихся во взаимосвязи и взаимообусловленности своего существования и эволюционного развития. Со-временная биосфера - это завершающая часть эволюции былых биосфер.

4.4.2. Следы былых биосфер в осадочных породах

Как правило, жизнь забирает свое небиогенное вещество. Консервация - это явление временное, ему благоприятствует захоронение, переход в компоненты литосферы. Другими словами, органическое вещество должно быть удалено из биосферы, тогда может сохраниться

в течение миллионов лет. Наиболее общий случай захоронения - погружение бассейна аккумуляции (захоронение стволов деревьев, в океане - интенсивное осадконакопление). На суше слабо выражено осадконакопление, в океане - интенсивнее. Количество биогенного вещества, переходящего в ископаемое состояние, ничтожно по отно-

шению к продукции живого - десятые и сотые доли процента. По Вернадскому, осадочная оболочка Земли, в самом упрощенном виде, - это стратиграфически наложенные друг на друга следы былых биосфер планеты.

Согласно современной классификации осадочные породы разделяются следующим образом:

обломочные - глинистые - аллитные - железистые - марганцевые - фосфатные - карбонатные - кремнистые - соли - каустобиолиты.

Наибольшими концентрациями палеобиогенного вещества характеризуются карбонатные и кремнистые породы, а также каустобиолиты.

Рассмотрим участие живого вещества в образовании различных осадочных пород (Лапо, 1979, 1987).

Содержание **карбонатных пород** в осадочной оболочке оценивается от 10 до 18%. О роли жизни в их формировании Вернадский говорил как о «кальциевой функции» биосферы. Еще недавно ученые спорили о соотношении биогенного и хемогенного осаждения карбонатов

в морских экосистемах. Однако детальное изучение осадков показало, что карбонаты сложены остатками водорослей, бактерий и обломков раковин. Карбонатные осадки делят на планктогенные и бентогенные. Планктогенные осадки включают фораминиферовые, кокколитоовые и птероподовые, почти половину их составляет фораминиферовые. Вымершие фораминиферы - нуммулиты создали известняки, из которых построены пирамиды. Появились фораминиферы в кембрии, начиная с карбона, приобрели важную роль в известковом осадкообразовании. Современные кокколитоовые илы уступают фораминиферовым. Сложены остатками кокколитофорид - золотистых водорослей, панцири которых состоят из карбонатно-кальциевых щитков, отмирая, они превращаются в порошок. Птероподовые илы формируются из раковин мелких брюхоногих моллюсков - птеропод. Современные карбонатные илы покрывают около 128 млн км² дна океана, или 36 % его площади. Средняя мощность - около 400 м, скорость накопления - около 1 см в 1000 лет. Считают, что и раньше скорость накопления не была ниже, только одни кокколитофориды могли в течение мелового периода отложить толщу в 7 км.

Бентальные карбонатные осадки образуют моллюски на шельфе и вершинах подводных гор (раковинные поля на восточной и северной окраинах Каспийского моря, северо-западе Черного моря, на Багамской отмели и др.). Кроме того, это кораллово-водорослевые рифовые осадки. Общая площадь рифов мира - 600 тыс. км². Рифы состоят из карбонатов кальция. Ископаемые рифы имели широкое распростра-

нение, в кайнозой и мезозой составляли главную массу известняков. Также в карбонатном бентальном осадконакоплении участвуют фораминиферы, мшанковые, иглокожие, остракоды и др. (табл. 9).

Таблица

Площади, занятые различными типами осадков, млн км

(Виноградов, 1989)

Тип осадков	Атлантический океан	Тихий океан	Индийский океан	Всего
Известковые илы:				
фораминиферовые	40,1	51,9	34,4	126,4
птероподовые	1,5	-	-	1,5
Кремнистые илы:				
диатомовые	4,1	14,4	12,6	31,1
радиоляриевые	-	6,6	0,3	6,9

Современное карбонатообразование идет и в озерах под действием процессов выпаривания и геохимической деятельности бактерий, которые создают условия для осаждения карбонатов.

Доломиты похожи на известняки, их много в докембрийских и палеозойских отложениях. В доломите содержится много $MgCO_3$. Доломитообразование связано с накоплением органического вещества (в хлорофилле - около 2% магния) вне живого организма в засоленных мелководных бассейнах.

Итак, биогенные карбонатные породы образуются в результате деятельности планктонной и донной пленки жизни в экосистемах Мирового океана и внутриконтинентальных водоемов. Интенсивность карбонатакопления в геологическом прошлом определялась палео-географической обстановкой (площади распространения внутриконтинентальных морей) и содержанием в атмосфере углекислого газа, выделяющегося при вулканических процессах. В формировании карбонатных пород проявляется концентрационная функция живого вещества, через построение скелета. Доломитообразование есть также результат средообразующей функции живого.

Кремнистыми называют породы, состоящие в основном из минералов кремнезема: опала, халцедона, кварца (не входят песчаники и алевролиты). Отложение кремнистых осадков осуществляется в морских экосистемах, в меньшей степени - в экосистемах континентальных водоемов (рис. 12). Осаждение происходит в условиях резкого дефицита кремнезема в морской воде - 0,0004 %. Отлагается кремне-

зем диатомовыми водорослями, которые содержат 90 % кремнезема, взвешенного в океане, а также радиоляриями, губками и силикофлагеллатами (кремниевые жгутиковые водоросли); в пресноводных водоемах - исключительно диатомеями. Хемогенного осаждения нет. В экваториальном поясе сильно выражено карбонатообразование, кремнистые осадки встречаются исключительно ниже уровня карбонатной компенсации.

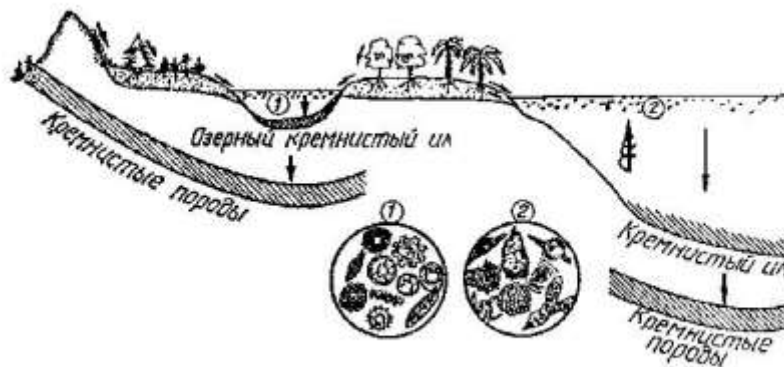


Рис. 12. Схема формирования кремнистых пород в биосфере: 1 – кремниевые организмы континентальных водоемов; 2 – кремниевые организмы морей

- океане локализация кремненакопления связана с областями развития диатомей. Диатомиты - это светлые тонкопористые породы, сложенные микроскопическими панцирями водорослей. Они пористые, легкие, мягкие. Скорость размножения диатомей очень высока, удвоение числа клеток происходит каждые 4 часа. Слой биогенного кремнезема, накапливающийся за счет диатомей, может достигать от 7,5 до 30 см за тысячу лет. Морские диатомиты известны с позднего мела и залегают в виде пластов мощностью в десятки и сотни мет-ров (1600 м в Калифорнии). Озерные диатомиты - более молодые (появились в эоцене), распространены на Кавказе, Дальнем Востоке, Карпатах, севере Западной Европы. Озерное кремненакопление локализовано в умеренных и высоких широтах, иногда в зоне вулканической деятельности (источник дополнительного минерального питания).

Другая предпосылка - развитие кислых кристаллических пород, интенсивно выветривающихся.

Радиоляриты - сложены остатками зоопланктона. Радиолярии из-вестны с кембрия. Породы менее распространены, но мощность дости-гает 38 м (отложения палеогена о. Барбарос).

Спонголиты состоят из скелета губок. В Баринцевом море «вата» из губок образует слои 30-60 см. Существуют и другие кремниевые породы. Кремнистые осадки образуются в результате концентрацион-ной функции живого вещества. И в современную эпоху и в геологиче-ском прошлом (начиная с кембрия) накопление шло в морских экоси-стемах, первоначально за счет донной жизни, затем за счет планктон-ных диатомей (с конца мезозоя). Озерное кремненакопление началось

В эоцене за счет пресноводных диатомей и губок. По отложенным кремнистым породам прослеживают древние сгущения жизни.

Каустобиолиты- торфы, сапропели, угли, горючие сланцы и нефть - современные осадки и горные породы, сложенные биогенным органическим веществом. В современной биосфере органика накапли-вается в болотах, озерах, океанах. Переход торфов в палеобиогенное вещество более выражено в приморских и прибрежно-озерных торфя-никах в зонах прогиба земной коры. Накопление органического веще-ства также идет в континентальных водоемах, в основном в виде са-пропеля - скопления остатков фито- и зоопланктона, экскрементов жи-вотных. И, наконец, в мелководных морских лагунах. Таким же обра-зом накапливалось биогенное вещество в геологическом прошлом Земли. Ископаемые угли известны с девона, сложены из углефициро-ванных растительных тканей, сейчас по ним устанавливают система-тическую группу растений. Состав углей менялся: в карбоновых углях много спор, в позднекарбоновых появились стволы деревьев, в мезозое угли из спрессованных листьев или иголок, для палеогена и неогена характерны лигниты - остатки хвойной древесины. В углях мало веще-ства гетеротрофов - в основном грибы, есть остатки бактерий, позво-ночных, членистоногих.

Горючие сланцы образовались из сапропеля озерных и морских экосистем, биогенный материал в нем сильно переработан донными организмами, дифференцировать его затруднительно.

Нефть и природный газ также состоят из органического вещест-ва. В. И. Вернадский, опираясь на очень небольшое количество фак-тов, писал о газовом дыхании Земли. Даже при глубочайшей стадии метаморфизации в породах содержится остаточное количество метана, бутана, пропана, этилена. При сейсмогеологической активизации эти толщи осадочных пород могут отдавать поглощенные газы в виде

струй и растворенной форме. Углеродное дыхание вносит свою лепту в формирование нефтяных и газовых скоплений, которые на платформах могут накапливаться. Углеродная газовая состав-ляющая существует столько же, сколько существуют живое вещество

и осадочные породы, из нее формируются месторождения нефти и га-за. По распространенным современным представлениям, нефть обра-зуется из битуминозных компонентов рассеянного органического ве-щества, которые вследствие своей подвижности легко мигрируют и при наличии соответствующей геологической обстановки образуют скопления.

Суммарные запасы каустобиолитов - $n \cdot 10^{13}$ т., что составляет

0,36 % всего органического вещества, содержащегося в осадочных оболочках. Биогенная органика сравнима с кремнеземом, а возможно,

и с карбонатами, но находится в основном в дисперсной форме. При формировании каустобиолитов проявляется концентрационная функ-ция живого, но главным образом - энергетическая. Человеком исполь-зуется при сжигании заключенная в них солнечная энергия.

Не во всех осадочных породах много биогенного вещества, бед-ны им фосфориты, железистые и марганцевые породы.

Мощность пластовых **фосфоритов** достигает 15-17 м. В фосфо-ритах редко сохраняются остатки организмов. Вместе с тем имеются убедительные доказательства того, что в круговороте фосфора живое вещество играет важную роль (рис. 13). Фосфор концентрируют мно-гие организмы: в скелетах позвоночных до 60% фосфата кальция, в раковинах брахиопод - до 100%, панцири раков - 50%, много в скеле-тах рыб. Концентрируется окись фосфора и в экскрементах животных. Доказательством значительного участия живого в образовании фосфо-ритов является высокий процент органики (до 36%). В фосфоритах часто встречаются капролиты животных. Никаких признаков хемоген-ного образования фосфоритов не установлено. В настоящее время обосновано, что основная масса фосфоритов формируется в

морских экосистемах, в сгущениях жизни, ведущая роль в их накоплении принадлежит планктону. В образовании фосфоритов проявляется концентративная функция живого вещества. Транспортная функция живого - перемещение из моря на континент - проявляется при накоплении гуано. Огромные скопления (мощностью до 35 м) экскрементов морских птиц образованы на островах и морских побережьях, летучих мышей - в пещерах. На островах Чинча, расположенных у берегов Латинской Америки, ежегодно накапливается слой гуано мощностью 8 см.

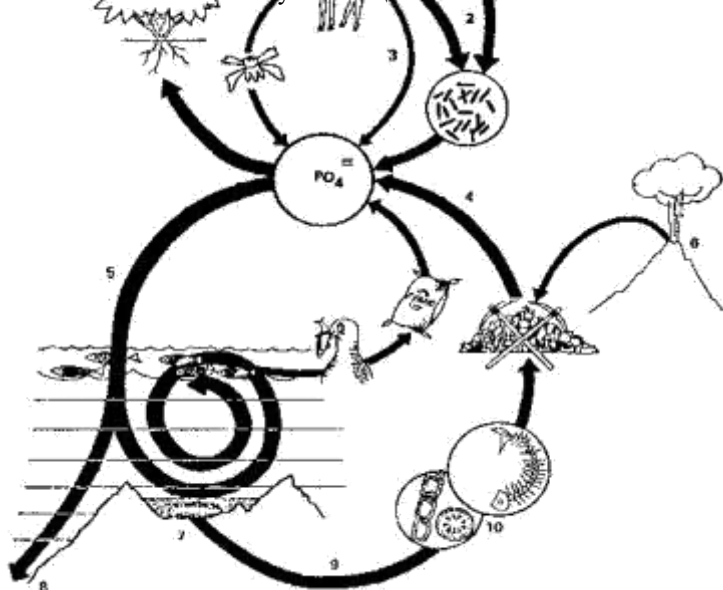


Рис. 13. Схема биогеохимического цикла фосфора (по П. Дювиньо): 1 – накопление фосфора высшими растениями; 2 – разложение небиогенного органического вещества; 3 – экскременты; 4 – эрозия; 5 – поступление в океан; 6 – вулканический апатит; 7 – осаждение на небольшой глубине; 8 – осаждение на значительных глубинах; 9 – переход в ископаемое состояние; 10 – вовлечение в биологический круговорот диатомовыми водорослями

Железистые осадочные породы залегают в виде пластов, линз или гнезд. Пласты растянуты на десятки километров, мощность их - десятки метров. По составу они могут быть окисные, силикатные (хлориты), смешанные. В докембрийской части распространены железистые кварциты, в которых чередуются слои, обогащенные железом и кремнеземом. Возраст этих осадков около 2 млрд лет, образование происходило в морях и озерно-болотистых местах. Основная масса водной окиси железа поступала в бассейны, там преобразовывалась в

ферригид рит. Характер превращений зависел от органического вещества. При наличии органики происходит переход окисных соединений в минералы закисного железа (хлориты, сидериты).

Наиболее богатые **марганцевые** осадочные породы содержат 80%

3. более окиси марганца, но чаще - около 10% окиси марганца. Размеры месторождений в длину составляют несколько километров, в глубину - сотни метров. Выделяют окисные и карбонатные марганцевые породы. Окисные породы накопились в водной среде - в озерно-болотных или морских условиях. Марганец поступает в бассейны в виде коллоидов гидроокиси марганца, реже - в ионной форме. Выпадение идет путем коагуляции коллоидов в окислительной среде. Карбонатные марганцевые породы образуются в

результате восстановления марганца (двух-валентная форма) при наличии органического вещества в осадочных отложениях.

Современные озера Северо-Запада нашей страны содержат желе-зо-марганцевые конкреции с количеством окислов железа и марганца до 80 %. Обнаружены железобактерии, производящие рудообразова-ние. Некоторые из них являются гетеротрофами, окисляющими ком-плексные органические соединения железа. В результате железо в форме гидрата окиси откладывается на поверхности клеток. Сущест-вуют также специфические бактерии, хемолитоавтотрофы, способные использовать в качестве источников энергии окисление восстановлен-ных (закисных) соединений железа. Именно они названы железобакте-риями. Наиболее распространены среди них нитчатые формы *Leptothrix ochracee*. Клетки этих бактерий окружены минеральной кап-сулой, состоящей из гидрата окиси железа. Хорошо изучены также относящиеся к группе тионовых бактерий *Thiobacillus ferrooxidans*, способные окислять соединения двухвалентного железа. Малый энер-гетический эффект реакции окисления железа требует для поддержа-ния процессов жизнедеятельности переработки массы железа, в сотни раз превышающей прирост органического вещества, поэтому деятель-ность железобактерий имеет весьма значительный минералогический эффект.

Некоторые бактерии способны использовать в качестве источни-ка энергии закисные формы не только железа, но и марганца. В окис-лении марганца ведущая роль принадлежит *Mettallogenium*. Этот орга-низм непосредственно участвует в формировании марганцевых кон-креций.

Одни виды бактерий концентрируют исключительно окись мар-ганца, другие - окись железа, третьи - оба компонента. Вспышки чис-

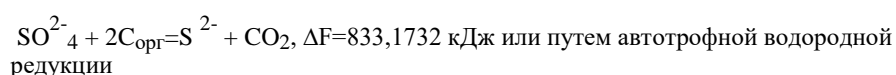
ленности разных групп бактерий формируют зональность донных осадков.

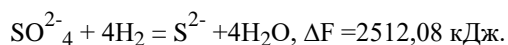
Железомарганцевые конкреции образуются в два этапа: сначала окисные соединения элементов восстанавливаются в донных осадках сульфатвосстанавливающими и другими бактериями, и восстановлен-ные формы поступают из ила в воду. Затем железобактерии окисляют закисные растворенные соединения с образованием ферригидрита, вернадита и иных минералов. Бактериальное окисление идет при очень низких концентрациях, и хемогенное осаждение не возможно. Часть железа и марганца осаждается при минерализации металлоорганиче-ских соединений (гуматы и фульваты).

Микробиолог Т. В. Аристовская в микроскопической структуре гетита и лимонита обнаружила черты сходства между остатками мик-роорганизмов и фрагментами колоний современных бактерий. Л. Е. Штеренберг в марганцевых рудах палеогена описал биогенные струк-туры, сходные с родом железобактерий. Таким образом, доказано био-генное происхождение не только современных озерных руд, но и древних железистых и марганцевых пород.

Еще одна группа микроорганизмов участвует в накоплении больших масс металлов. Это - сульфатвосстанавливающие бактерии, интенсивно развивающиеся в анаэробных условиях донных осадков морей, рек, озер, в почвах и болотах. В процессе развития они выде-ляют сероводород, который вступает во взаимодействие с ионами ме-таллов, образуя сульфиды - важнейшую группу минералов. Сероводо-род является сильнейшим восстановителем и вследствие этого дея-тельность сульфатредуцирующих бактерий регулирует характер гео-химических процессов в окружающей среде, в частности оказывает осаждающее влияние на уран, ванадий, селен и другие элементы вследствие их перехода в более восстановленные малорастворимые соединения. Установлено три вида бактерий, восстанавливающих сульфаты: *Desulphovibrio desulphuricans*, *D. orientis*, *Clodtridium nigrificans*.

Редукция сульфатов, осуществляемая бактериями, представляет собой окислительно-восстановительный процесс, при котором органи-ческое вещество окисляется путем отнятия водорода, акцептируемого молекулой сульфата. Бактериальная сульфатредукция может осущест-вляться по гетеротрофной схеме





Восстанавливая сульфаты, бактерии образуют сероводород. Сероводород, взаимодействуя с соединениями железа, превращается в сульфиды железа. В колониях находили живые клетки, черные от заплясавшего их сернистого железа. Выделение сернистого железа происходит и вокруг клеток, в результате чего колонии бактерий и значительная зона вокруг них представляют собой сгустки сульфидной массы. Представления о возможности восстановления сульфатов чисто химическим путем не состоятельны, поскольку процесс редуции сульфатов прекращается после внесения в среду антисептиков.

В образовании железистых и марганцевых пород наиболее ярко проявляется средообразующая функция живого вещества. При взаимодействии сероводорода с низкотемпературными водными растворами, несущими рудные элементы, осаждаются медь, цинк, свинец. В данном случае также реализуется средообразующая деятельность живого вещества. Освобождаются эти элементы из первичных горных пород под воздействием тионовых бактерий, перевод их в раствор - это деструктивная функция живого.

Аллиты, или *глиноземные* породы, - это горные породы, богатые свободным оксидом алюминия. К ним относятся бокситы с содержанием оксида алюминия 40-60%. По господствующей точке зрения, бокситы - это ископаемая кора выветривания пород алюмосиликатного состава. Однако установлено, что диатомовые водоросли могут расщеплять алюмосиликаты и используют кремнезем для постройки своих скелетов. Глинозем остается в водной среде в виде коллоидного раствора, в определенных условиях может накапливаться. Установлен факт разложения изверженных пород с превращением в глинозем. Академик Л. С. Берг высказал мысль, которая нашла позднее подтверждение, о том, что бокситы могли сформироваться путем минерализации и переотложения остатков высших растений, содержащих много глинозема (в золе плаунов - до 30 % алюминия). Железобактерии разлагают алюмоорганические комплексы с осаждением гидрооксида алюминия. Следовательно, в образовании бокситов определяющей является деструктивная роль живого вещества. Не исключено, что имеет значение и концентрационная функция живого.

К чисто хемогенным образованиям относят *соли* - осадочные породы, состоящие из легкорастворимых минералов. Соли освобождаются при биологическом выветривании магматических и метаморфических пород. Выпаривание и кристаллизация солей из растворов идут абиогенно. В аридных районах растения содержат много солей - до 40-50 % веса, натрия на золу - до 65 %, хлора - до 48 %, сульфатов - до 36 %. Отмирая, растительные остатки засоляют почву, при их разло-

жении первыми выщелачиваются сульфаты и хлориды натрия, магния, так как растения не концентрируют их избирательно. Соли мигрируют

и водами и концентрируются в бессточных котловинах или в Мировом океане. Там они абиогенно выпадают из пересыщенных растворов в соленых озерах или в отшнурованных от моря лагунах. Так же образуется и сода, только натрий в процессе миграции связывается с углекислотой. На месторождениях солей часто встречаются рифогенные образования, которые отшнуровывают солеродные бассейны от океана. Таким образом, в образовании солей проявляется средообразующая функция живого.

Залежи селитры накапливаются в высокогорных засушливых районах благодаря деятельности прокариот - цианобактерий и нитрифицирующих бактерий (последние образуют 96 г азотной кислоты на каждый грамм построенных при этом органических веществ). Нитраты не в меньшем количестве образуются и в других условиях, только на высокогорье нет потребителей азота: высших растений, лишайников и денитрифицирующих бактерий.

Из осадочных пород остались лишь *обломочные* и *глинистые*, образующиеся в результате выветривания и переотложения первичных вулканических, а также осадочных пород. В процессах физического и химического выветривания горных пород самое активное участие принимают живые организмы. По мнению Б. Б. Польнова, глинистые породы могли образоваться и за счет полной минерализации отмершей растительной органики. В глинах содержится 0,8 % органического вещества, в обломочных - 0,2-0,5 %. В целом, в глинах содержится более 3/4 всей палеобиогенной органики осадочной оболочки Земли, в обломочных - более 15 %.

Итак, в образовании осадочных пород участвовало в той или иной степени живое вещество. Часть горных пород сложена остатками когда-то живших на Земле организмов (карбонатные, кремнистые, каоустобиолиты, частично и фосфаты). Другие образованы продуктами метаболизма живого: железистые, марганцевые породы, аллиты. Для третьих роль живого сводится к подготовке исходного вещества на стадии гипергенеза.

Некоторые обитатели моря - членистоногие и моллюски имеют голубую кровь с дыхательным пигментом гемоцианином, содержащим медь (а не железо, как в гемоглобине). Выдвинута гипотеза (Лапо, 1979), согласно которой было время, когда у животных преобладал гемоциан в крови. С периодом их расцвета связывают образование стратиформных медных руд.

Самородная сера - также результат деятельности живого вещества. Сульфатвосстанавливающие бактерии образуют сероводород. Окисление сероводорода проводят тионовые бактерии до элементарной серы.

Особое место в биогенном накоплении элементов занимает уран. Взаимодействие урана с живым веществом представляется исключительно сложным. Существенное биогенное накопление урана в осадках происходит в условиях значительно повышенной его концентрации в водах палеобассейнов. Однако при этом происходит ответная реакция живого вещества на повышение радиоактивности, которая заключается в усилении мутационного процесса. Прижизненные накопления урана отмечены у цианобактерий, кокколитов, хлореллы с последующим отложением в осадках сапропелевого типа в оз. Киву в Африке, в ряде ограниченных мест Атлантического и Тихого океанов.

По-новому представляется образование многих месторождений, прошедших через органическую стадию развития. Биогенные толщи были мощным конденсатором и накопителем U, V, Cu, Au и др. Метаморфизм, т.е. воздействие высоких температур и давлений, а также метасоматическое воздействие на породы привели к формированию месторождений полезных ископаемых: например, золоторудные месторождения черносланцевых формаций, парагенезис многих крупнейших месторождений урана с подстилающими их углеродсодержащими породами.

Осадочные оболочки Земли остаются документом развития биосферы, по ней можно восстанавливать этапы развития разнородного живого вещества планеты. Из однородных первичных пород жизнь создала разнородные осадочные породы и руды.

Сопоставление данных о периодичности накопления высокоуглеродистых формаций в докембрийском осадконакоплении с основными этапами развития живого в докембрии привело ряд авторов к выводу о том, что все крупные эпохи повышенного накопления в осадках органического вещества не просто отвечают возрастанию биомассы, но являются следствиями биообновлений живых организмов. Среди важнейших событий органической эволюции, обусловивших крупные эпохи осадконакопления, регионального метаморфизма и магматической активности, называют возникновение фотосинтеза у прокариот (3,7-3,5 млрд лет назад), появление эукариот (1,9-1,6 млрд лет назад), массовое появление колониальных форм (1,6-1,3 млрд лет назад), возникновение митоза, мейоза (1-0,9 млрд лет назад), экспансия многоклеточных (0,6-0,5 млрд лет назад). Однако другие ученые считают, что эпохи угленакопления и биогенного карбонатобразования могли

быть связаны с резким увеличением биомассы некоторых групп организмов, с утилизацией которых не справлялись редуценты, с распадом ранее существовавшей трофической пирамиды, с особыми условиями захоронения и т.п.

4.4.3. Взаимодействие материи и энергии биосферы с внутр-рентней энергией и веществом Земли

Весьма образно представляют процесс взаимодействия вещества

В энергии биосферы с глубинными слоями литосферы Н. Н. Верзилин

В др. (1976). Земная кора океанов, как лента конвейера, движется от океанических хребтов к материкам. При погружении земной коры под материк осадочный слой нагревается, теряет воду и различные летучие вещества, испытывает метаморфизм, переплавляется и выделяет ту энергию, которую накопил благодаря жизни и Солнцу. Эта выделяющаяся энергия создает повышенную сейсмичность, активный вулканизм на периферии материков (Кордильеры, Камчатка, Курильские, Японские, Алеутские острова). Переработанное до расплавления вещество внедряется в континентальную кору или изливается на поверхность, вновь включаясь в процесс осадкообразования.

На континентах идет погружение участка морских бассейнов, с суши попадают осадки, глубина опускания растет, выделяется тепло. На глубине 10-12 км под действием температуры и давления энергия химических связей превращается в тепловую, это процесс метаморфизации и расплавления. Объем вещества при этом возрастает, идет выжимание вверх поверхностных осадочных пород (образование складок, трещин, разрывов, смещение блоков, проникновение лавы к поверхности). Возникают горные массивы. Постепенное разрушение гор облегчает участки земной коры, но осадки утяжеляют соседние области. Так возникает новый геологический круговорот. Основная причина погружения-поднятия участков земной коры - энергия живого вещества.

А. И. Перельман (1989) считает, что эволюция систем земной коры направлена в сторону увеличения сложности и разнообразия. В более ранние эпохи, в докембрии, формировались преимущественно метаморфогенные и собственно магматические месторождения, в фанерозое - разнообразные мезо-, теле- и эпитепральные месторождения с телескопированными рудами. Известны месторождения солей, известняков, железных руд и других полезных ископаемых, сформировавшихся ранее 200 млн лет, в мезозое их не было. Развитие земной коры в сторону увеличения сложности и разнообразия не происходит

самопроизвольно, для этого необходим непрерывный приток энергии - солнечной, радиоактивной и др. Главный механизм, с помощью которого солнечная энергия превращается в химическую, - это биологический круговорот атомов.

Связь между глубокими частями земной коры и биосферой ранее считалась прямой: полагали, что магматизм и вулканизм, складчатость, горообразование влияют на выветривание, осадконакопление, деятельность подземных вод. Обратное влияние экзогенных процессов на эндогенные не рассматривалось. Однако за последние десятилетия установлено, что связи между этими процессами имеют и обратный характер: биосфера влияет на состав гидротермальных растворов, магматизм и т.д. Многие граниты образовались при переплавлении осадочных пород, сера части гидротермальных сульфидов имеет осадочное происхождение, причиной газового дыхания земной коры служат биогенные органические соединения и др.

Земная кора и мантия развиваются на основе как положительных, так и отрицательных связей с биосферой. Например, вулканизм поставляет CO_2 в атмосферу и гидросферу, а фотосинтез и карбонатообразование изымают CO_2 , связывают углерод в карбонатах и органических соединениях, которые частично попадают в земную кору. В результате содержание CO_2 в атмосфере и гидросфере уменьшается, система саморегулируется и стабилизируется.

Материя и энергия биосферы тем или иным путем взаимодействуют с внутренней энергией Земли. Осадконакопление в биосфере подвергалось влиянию жизни. Биогенным путем концентрируются многие вещества. Затем в ходе метаморфизации осадков они становятся потенциально рудоносными. В ходе геологического времени росла дифференциация биосферы и осадочных пород, перерабатывались осадки, все более богатые энергией; а это должно было усиливать энергию тектонических процессов, рудообразования, увеличивать высоту горных систем. Следовательно, первопричины увеличения сложности и разнообразия состоят в развитии биосферы, прогрессивном накоплении в ней солнечной энергии. Объяснить прогрессивное развитие эндогенных процессов за счет глубинных источников энергии трудно, так как количество радиогенного тепла со временем не увеличилось, а уменьшилось. Биосфера в течение нескольких миллиардов лет поглощает солнечную энергию и в процессе биологического круговорота и других кругооборотов превращает ее в энергию геохимических процессов.

Следует отметить, что до настоящего времени сомнению подвергается идея влияния жизни на процессы изменения даже таких осадоч-

	10 ⁹ т	счете на С орг, %	10 ⁹ т								
Растения суши	25	18,5	4,6	1,08	0,36	0,69	0,20	0,08	0,16	0,14	0,23
Фито- планктон	82	54,2	44,4	5,50	5,82	5,72	1,33	0,26	0,62	4,04	0,39

Основная тенденция в развитии наземной растительности - ос-воение засушливых районов. Голосеменные растения царствуют в ме-зозое, сменяются покрытосеменными к началу кайнозоя, быстро овла-девающими всей поверхностью планеты. Ботаник А. Л. Тахтатжан считает, что травы от деревьев произошли во второй половине палео-гена. Быстрый рост и размножение трав обеспечивали ускорение био-логического круговорота и эволюции растительной жизни, а следова-тельно , усиливался геохимический эффект воздействия жизни на био-сферу. Существует гипотеза, что травы возникли из-за ухудшения уг-леродного питания растений. Во второй половине мела был расцвет планктоновых фораминифер с образованием новых типов карбонатных пород. Уменьшение концентрации CO₂ в послемеловом периоде при-дало направленность эволюции покрытосеменных растений. Итак, по-степенно нарастает скорость эволюции живых организмов и миграции элементов в биосфере. Одновременно усиливается осадконакопление: половина всей массы осадочных пород образовалась за последние 600 млн лет. До выхода жизни из моря суша представляла собой голые выходы вулканогенных пород темно-серого цвета, постепенно она приобретала цвета и становилась разнообразной.

Фотосинтетическая и почвообразующая деятельность растений привела к формированию в земной коре колоссальных запасов энергии

в виде каменного угля, углистых и органических сланцев, нефти, го-рючих газов, значительному снижению содержания в атмосфере угле-кислоты, накоплению в ней кислорода и молекулярного азота.

Поверхностные воды как биокосные системы. В. И. Вернадский утверждал, что «в истории природных вод... геологически приходящи-ми могут быть минеральные виды природных вод, которые не повто-ряются и которые раньше не существовали». А. И. Перельманом и другими учеными также отстаивалась мысль не только об эволюции океана, но и других природных вод, в том числе подземных. С появле-нием наземной растительности увеличилось разнообразие ионного состава континентальных вод, их обогащение органическим веществ-вом и соединениями CO₂, H₂S, NH₃, NO₃.

Растения оказались также важным фактором формирования гид-рохимической зональности грунтовых вод. А. И. Перельман уделил внимание дифференциации природных вод в связи с возникновением геохимических барьеров. Так, в местах биоокисления сульфидов фор-мировались сернокислые воды. Накопление биогенных веществ созда-вало резковосстановительную обстановку, в которой многие химиче-ские элементы изменяют свою подвижность.

в верхних горизонтах водоемов развивается фотосинтез, одно-временно происходит разложение живого вещества, т. е. складывается биологический круговорот. В глубоких водных слоях озер, морей, океанов происходит только разложение органического вещества.

Живые организмы определяют кислотно-щелочные свойства по-верхностных вод. Сильнокислые ручьи известны в районах сульфид-ных рудных месторождений, они обогащены и металлами. В окисле-нии сульфидов важная роль принадлежит бактериям, в сотни раз уве-личивающим скорость окисления. Встречаются здесь и сернокислые («купоросные») озера. Такое озеро вблизи Гайского медноколчедано-вого месторождения на Южном Урале издавна использовалось в ле-чебных целях. В отработанных карьерах сульфидных месторождений возникают сернокислые пруды. Сернокислые ручьи местами образу-ются в результате кислого водоотлива из угольных шахт.

Кислые воды образуются из-за разложения органических остат-ков, богаты органическим веществом (табл. 11). Таковы многие реки и озера районов влажного климата и равнинного рельефа - водоемы тун-дры,

заболоченной тайги, влажных тропиков. В районах многолетней мерзлоты подобные реки встречаются и в горах. К этому же классу относятся и черные тропические реки, например приток Амазонки

Рио-Негро (по-испански «черная река»). Под защитой органических веществ мигрируют многие металлы. Это крайне неравновесные системы, так как содержат и сильный окислитель (O_2) и сильные восстановители - растворенные органические вещества. В кислых водах повышается и растворимость соединений фосфора. Нейтральные и щелочные воды могут содержать разное количество органики, но все же меньше, чем кислые.

Таблица

Распределение массы живого и растворенного органического вещества на суше ($C_{орг}$), т (Успенский, 1956)

Природные объекты	Живое вещество		Растворенное органическое вещество
	автотрофы	гетеротрофы	
Древесная растительность	$517 \cdot 10^9$	$0,72 \cdot 10^9$	-
Травы и посевы	$16,5 \cdot 10^9$	-	-
Болотная растительность	$6,2 \cdot 10^9$	$0,01 \cdot 10^9$	-
Реки и озера	$0,05 \cdot 10^9$	$0,03 \cdot 10^9$	$0,51 \cdot 10^9$

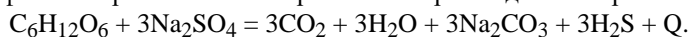
Реки России (незагрязненные отбросами) по содержанию органических веществ различаются в 20-30 раз. Воды горных рек содержат очень мало растворенных органических веществ - окисляемость меньше $0,5 \text{ мг } O_2/\text{л}$. Несколько выше окисляемость речных вод в тундре ($5-10 \text{ мг } O_2/\text{л}$). Значительно повышается окисляемость в водах рек средней и южной тайги ($10-20 \text{ мг } O_2/\text{л}$). Наибольшее содержание растворенных органических веществ ($20-30 \text{ мг } O_2/\text{л}$) обнаруживается в реках северотаежной подзоны европейской части России и Западной Сибири, где большие площади заняты кислыми глеевыми торфянистыми почвами и торфяниками. Значительная часть органических веществ в болотных и речных водах представлена фульвокислотами. Кислая природа этих веществ обуславливает кислую реакцию вод (pH до 3) и их агрессивность. Воды верховых и низинных болот - это мощные источники воднорастворимых органических веществ - комплексобразователей. Фульвокислоты, выделенные из вод оз. Великого, где их содержание составляет $10,7 \text{ мг/л}$, образуют металлоорганические комплексы с Cu , Zn , Pb и Cd . Комплексообразование происходит в результате взаимодействия ионов металлов с карбоксильными группами фульвокислот. Большую часть органического вещества водоемов составляют почвы.

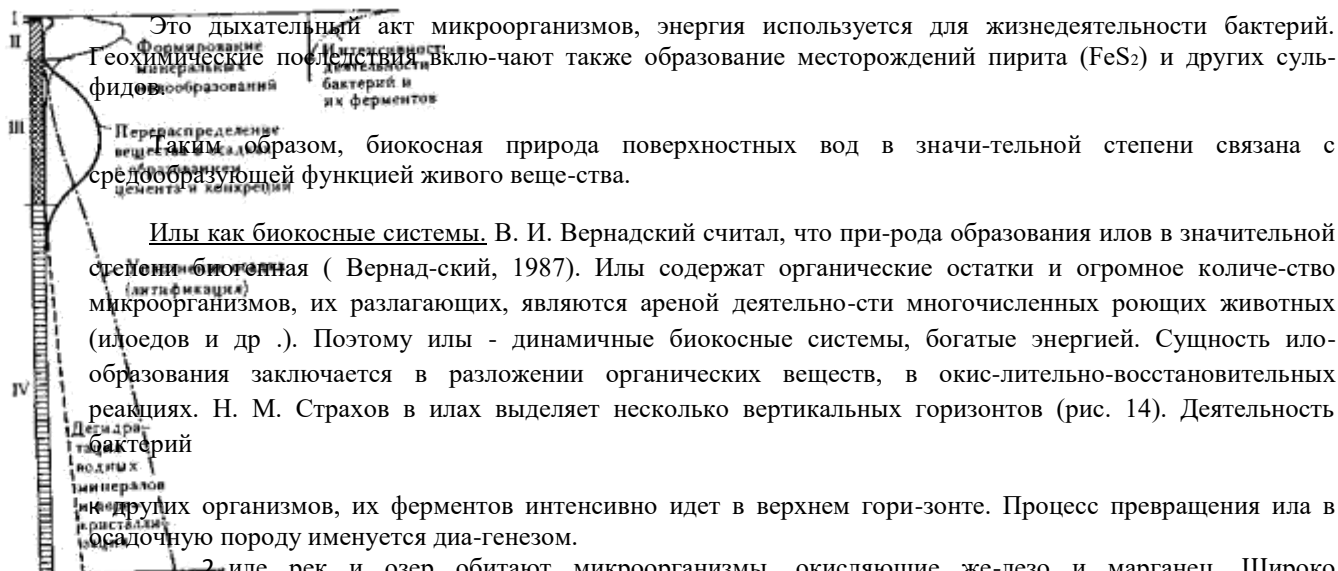
Воды низинных болот содержат очень много растворенных органических веществ, имеют желтоватобурый, коричневый цвет. В них

присутствуют гумусовые вещества, летучие фенолы; pH - от 6,5 до 7,2. Содержание растворенного железа составляет $0,3-5 \text{ мг/л}$ и более, марганца - $0,02-0,005 \text{ мг/л}$. В надмерзлотных водах низинных болот в форме органоминеральных соединений мигрируют As , Zr , Mo , Co , Va

2. другие микроэлементы.

лесостепях, степях, саванах встречаются содовые озера, одним из возможных механизмов образования соды считается деятельность сульфатредуцирующих микроорганизмов. В присутствии сульфатов натрия окисление органики сопровождается образованием сероводорода и карбоната натрия:





2. Иле рек и озер обитают микроорганизмы, окисляющие железо и марганец. Широко представлены нитчатые железобактерии - *Leptothrix ochracea*. Цепочки у нитчатых бактерий заключены в общий чехол. Образующиеся при окислении железа гидроксиды откладываются внутри чехла. По мере закупорки чехла бактерии, нуждающиеся в O_2 и источнике Fe^{2+} , перемещаются наружу и образуют новый чехол. Старые ожелезненные чехлы - тонкие трубочки желтовато-оранжевого цвета часто покрывают подводные камни, накапливаются на дне рек, ручьев, озер.

Рис. 14. Вертикальная дифференциация в илах: I-IV – горизонты ила (по Н. М. Страхову)

3. озерах Карелии в образовании железистых осадков значительное участие принимает обитающий в илах на границе окислительной и восстановительной зон микроаэрофил *Siderococcus limoniticus*. Снизу из восстановленной зоны илов идет диффузия ионов Fe^{2+} , а сверху поступает необходимый для жизнедеятельности бактерий и окисления железа кислород, поэтому зона роста бактерий в виде охристой прослойки располагается в нижней части аэрируемого слоя ила. В ожелезненных озерных илах часто обнаруживается *Gallionella ferruginea*, развивающаяся только в присутствии Fe^{2+} . Для нее характерны винтообразные нити, покрытые гидроксидами железа и заканчивающиеся бактериальной клеткой. Она развивается в озерах с холодной водой (оптимум $6-8^\circ \text{C}$). Некоторые ученые относят эту бактерию к автотрофным железобактериям, ассимилирующим углекислый газ за счет окисления железа.

4. донных отложениях рудоносных озер Карелии распространены микроорганизмы рода *Metallogenium*, окисляющие Mn^{2+} , в Mn^{4+} . Железо-марганцевые конкреции имеют концентрическое строение. Микробиальные структуры обнаруживаются преимущественно в центральной части конкреций, характеризующей начальный период их образования. Предполагают, что начальное биохимическое окисление железа к марганца стимулирует процессы окисления металлов за счет уже

выпавшего в осадок Mn^{4+} : $Mn^{4+} + Fe^{2+} = Mn^{2+} + Fe^{3+}$. На поверхности конкреции выпадают гидроксиды железа Fe^{3+} . Mn^{2+} может переходить

в сорбированные формы или подвергаться вновь биохимическому окислению. Повторение процесса ведет к росту конкреций. В при-брежной части озер часто дно устилают железные пески. Местами распространены черные гороховидные конкреции. Содержание железа в конкрециях колеблется от 15,6 до 59,3%.

водной толще пресноводных и слабосоленых водоемов мелкие кристаллы кальцита покрывают поверхность многих планктонных и бентосных цианобактерий, одноклеточных и многоклеточных водорослей, водяных мхов, рдестов и др. Образование кальцита связано с поглощением зелеными растениями растворенной в воде углекислоты; при понижении ее концентрации непосредственно у поверхности растений растворенный бикарбонат переходит в карбонат, который выпадает в осадок. После отмирания растений и погружения их на дно кальцит поступает в донные осадки. Такие условия имеются в мелководных речных старицах, солоноватых зарастающих озерах, мелководных заливах. Кроме того, в образовании кальцита в водоемах участвуют многочисленные животные: остракоды, наземные и водные моллюски, раковины которых состоят из кальцита и арагонита, и другие ракушечные. Раковинки остракод образуют массовые скопления в известковых донных осадках озер Южной Сибири и Казахстана.

Непосредственно в донных отложениях кальцит образуется в результате деятельности различных групп гетеротрофных организмов: гнилостных и аммонифицирующих бактерий, а в солоноватых водоемах при наличии в донных отложениях гипса и за счет сульфатредуцирующих бактерий. Осаждение кальцита идет несколькими путями:

1) из кальциевых солей органических кислот за счет разложения гетеротрофными микроорганизмами органической составляющей; освобождающийся кальций и углекислота, соединяясь, дают углекислый кальций;

2) в результате обменных реакций кальциевых солей неорганических кислот, например сульфата кальция с углекислым аммонием, образующимся при окислении белков гнилостными бактериями: $(NH_4)_2CO_3 + CaSO_4 = (NH_4)SO_4 + CaCO_3$;

3) за счет сульфатредукции серы гипса в присутствии органических веществ. Образующийся сульфид кальция и углекислота вступают в реакцию: $CaS + H_2O + CO_2 = H_2S + CaCO_3$. При улетучивании сероводорода реакция идет в сторону накопления кальцита.

Оптимальные условия для накопления кальцита - это теплые, мелководные водоемы, богатые органическим веществом. В них в ре-

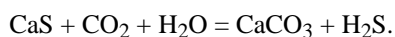
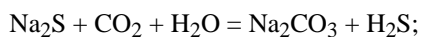
зультате сильного прогревания вод растворенной углекислоты мало, выпадающий в осадок кальцит не переходит снова в бикарбонат кальция, а накапливается в донных илах. Такие условия имеются в мелководных речных старицах, солоноватых зарастающих озерах, мелководных заливах.

Накопление биогенного опала в донных отложениях происходит

в результате деятельности диатомовых водорослей и кремниевых губок. Диатомовые водоросли весьма требовательны к обеспеченности водоема минеральным питанием. Они нуждаются в азоте, фосфоре, железе и достаточном количестве кремнезема. На них отрицательно действует повышенное содержание растворенного органического вещества. В этом случае они вытесняются цианобактериями и хлорококковыми водорослями. В пресноводных водоемах обитают диатомовые водоросли родов *Melosira*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Tabellaria*, *Fragilaria*, *Amphora*, *Asterionella*, *Eunotia*, *Cyclotella* и др. При накоплении кремниевых остатков диатомовых водорослей на дне озер образуются диатомиты. Диатомит - землистая рыхлая порода светло-серого или желтоватого цвета, состоящая более чем на 50% из панцирей диатомей и потерявших форму биогенных остатков аморфного кремнезема. На территории России диатомиты наиболее широко распространены в озерах Кольского полуострова, их мощность достигает от 1 до 9 м. В озерах Карелии чаще распространены диатомовые илы, содержащие аутогенный кремнезем (3-7%); таковы илы Ладожского и Онежского озер. Диатомовые илы и прослойки обнаружены в озерах Свердловской области, озерах Ильмень и Байкал.

солоноватых и соленых озерах широко распространены процессы восстановления серы сульфатов до сероводорода и образования сульфидов. Эти процессы идут при участии сульфатредуцирующих бактерий. В водоемах с плохим водообменом, с донными отложениями, богатыми органическими остатками, в донных осадках создается восстановительный режим, поселяются сульфатредуцирующие

бактерии преимущественно рода *Desulfovibrio*. Многие виды этих бактерий - галофиты. Это хемоорганотрофные организмы, потребляющие готовые органические вещества; их энергетический обмен связан с восстановлением серы сульфатов, находящихся в донных осадках. Сера сульфатов натрия, кальция, магния восстанавливается, образуются сульфиды: $\text{Na}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{S} + 2\text{O}_2$; $\text{CaSO}_4 = \text{CaS} + 2\text{O}_2$. При взаимодействии сульфидов с углекислотой, выделяющейся при разложении органических остатков, образуются углекислые соли и сероводород:



Углекислый кальций выпадает в осадок, сода при определенных условиях переходит в раствор, а сероводород улетучивается. В результате этого процесса идет метаморфизация вод: формируются содовые бессульфатные воды. С процессами биогенной сульфатредукции связано накопление соды в озерах, грунтовых водах. В анаэробной восстановительной среде, где железо и марганец находятся в двухвалентной и относительно подвижной форме (преимущественно бикарбонаты), появление сероводорода приводит к образованию сульфидов железа и марганца и выпадению их в осадок. Образуется коллоидный черный осадок гидротроилита $\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, в котором рассеяны кристаллы пирита или марказита Fe_2S_3 .

Классификация илов по А. И. Перельману (1977). Окислительные илы образуются в океанах, морях, озерах и реках, где создаются условия для перемешивания и поступает кислород. Окислительная обстановка характерная для прибрежных песков, а также там, где мало органики и холодная вода богата кислородом. Они имеют желтую, бурую, красную окраску, связанную гидроксидами трехвалентного железа.

Глеевые илы характерны для озер, расположенных во влажном климате, в тундре, тайге, влажных тропиках. Здесь продуцируется много органического вещества, но сульфатов нет, поэтому не образуется сероводород. Илы имеют сизую, зеленую, серую окраску из-за соединений восстановленных форм железа и марганца. Озера богаты жизнью, но для окисления остатков растений и животных в илах не хватает кислорода. На дне озер накапливается сапропель - тонкоструктурные коллоидальные органические донные отложения пресноводных и солоноватых озер. Они состоят более чем на 50% из полуразложившихся, но сохранивших клеточную структуру планктонных водных микроскопических организмов. Это клетки цианобактерий, хлорококковых, диатомовых и, в меньшей степени, дисмидиевых водорослей, а также останки животных, среди которых преобладают кладоцеры и простейшие. При невысоком содержании в воде кислорода и массовом развитии (так называемом цветении воды) водоросли после отмирания не успевают разложиться и накапливаются на дне. Частично они перерабатываются мелкими животными, остатки которых также участвуют в сложении сапропеля. Частично это остатки планктонных

бентосных животных (коловратки, членистоногие, ракообразные, ветвистоусые и др.). По внешнему виду и консистенции сапропель представляет собой студенистую массу темно-оливкового или коричневого цвета. После высыхания становится очень плотным, не размокает в воде. Мощность сапропелевых отложений обычно от 3 до 5 м, но в

некоторых озерах достигает 20 м и более. Доля органики в иле лесных озер тайги может достигать 90%, в ней обнаружены белки, витамины, биоактивные вещества. Сапропели богаты микроэлементами (Mn, Mo, Cr, Cu и др.). В северной половине европейской территории РФ образование сапропеля началось после отступления ледника, более 10000 лет назад.

Сероводородные илы широко распространены в морях и океанах, озерах степей и пустынь, где преобладают сульфатные воды, развивается десульфуризация, продуцируется сероводород, образуются сульфиды железа. Органики в иле немного, но достаточно для восстановления сульфатов воды. Илы черного цвета.

В древних водоемах были неизвестные в нашу эпоху илы (Перельман, 1977). Особенно интересны в этом отношении углеродистые сланцы нижнепалеозойского возраста. Черным цветом они обязаны органическим соединениям и графиту, сланцы содержат пирит. Исходные морские илы были

сульфидными, в них развивалась десульфуризация, продуцировался H_2S . В дальнейшем илы преобразовались в черные глины, которые в процессах горообразования были метаморфизированы и превращены в сланцы. Сланцы в отличие от современных илов значительно обогащены никелем, ванадием, молибденом, ураном, серебром, медью, свинцом и другими металлами (в 10 раз больше, чем в морских илах). Эти металлоносные сланцы очень широко распространены, суммарные запасы металлов в них огромны. Не вполне ясны причины накопления металлов. В качестве таких причин выдвигались благоприятная область сноса, накопление металлов в морской воде в предшествующие эпохи, исключительная медленность осадконакопления: 1 м за 600 тыс.-3 млн лет, а современных морях - 1 м за 2 тыс. лет. При метаморфизации черных глин металлы переходили в горячие газодонные растворы, поднимаясь к поверхности, растворы отлагали в трещинах богатые металлические руды. Так образовались рудные гидротермальные месторождения в местах распространения черных металлоносных сланцев.

Красноцветные осадочные породы представляют собой осадки бывших озер, речных долин, склонов. Возраст - от 1 до нескольких миллионов лет. В четвертичном периоде около 1 млн лет назад процесс накопления красноцветов прекратился. Это, как и черные сланцы, вымершие осадочные породы. Они образовались из окисленных илов при малом количестве органики, иначе сложилась бы глеевая обстановка.

В них мало следов растительных и животных организмов. В более ранние геологические периоды жизнь в засушливых районах была раз-

вита слабее, чем в неогене. Многие красноцветные осадки образовались в содовых озерах.

Кора выветривания – биокосная система. В. И. Вернадский пи-

сал: «...кора выветривания в химических процессах теснейшим образом связана с живым веществом, была биокосным телом...» (Вернадский, 1987. С. 70).

Корой выветривания, или элювием, называются рыхлые продукты изменения горных пород, образующиеся под почвой за счет поступления из нее растворов. От почвы кора выветривания отличается отсутствием биогенной аккумуляции элементов под влиянием растений. Основателями геохимии коры выветривания были Б.Б. Польшов и И.И. Гинзбург.

Биокосная природа коры выветривания проявляется в деятельности микроорганизмов, окисляющих органические соединения, поступающие из почвы. Миллионы микроорганизмов были обнаружены в 1 г каолинизированного гранита на глубине 12-17 м от поверхности. Наиболее изучена группа тионовых бактерий, окисляющих сульфиды. Микроорганизмы были найдены в поровых водах коры выветривания глинистых сланцев нижнего карбона. Разнообразные микроорганизмы (до 1 млн клеток в 1 г породы) обитают в корочках выветривания на склонах Тянь-Шаня на высотах более 4200 м.

В корках выветривания живут и макроорганизмы, как, например, различные землерои – сурки и др. Ходы их нор часто обнаруживаются глубоко под почвой. В местах нор сурка – тарбагана в Забайкалье на поверхность вынесены образцы горных пород с глубины в несколько метров.

Как и почва, кора выветривания имеет определенный профиль, т. е. состоит из горизонтов различного минерального и химического состава. Так, довольно распространена кора выветривания, верхние горизонты которой характеризуются кислой, а нижние – слабощелочной реакцией.

Наиболее благоприятные условия для формирования коры выветривания создаются во влажном и жарком климате при равнинном и спокойном тектоническом режиме. В этом случае ее мощность может достигать несколько десятков и даже сотен (по трещинам) метров. Кислотное выветривание наиболее энергично идет во влажных тропиках. Во влажном субтропическом и тропическом климате богатый растительный покров определяет энергичное поступление в кору из почвы углекислоты, гумусовых кислот и других продуктов разложения растительных остатков. Разложение минералов горных пород идет в кислой среде, что определяет вынос большинства металлов и замещение водо-

родом обменных катионов в поглощающем комплексе верхних горизонтов коры выветривания. Некоторые элементы (Mg, Ni, Co), вынесенные из верхних горизонтов, концентрируются в нижних горизонтах коры в

результате повышения величины рН. Так, вероятно, сформировались некоторые месторождения никеля (рис. 15).

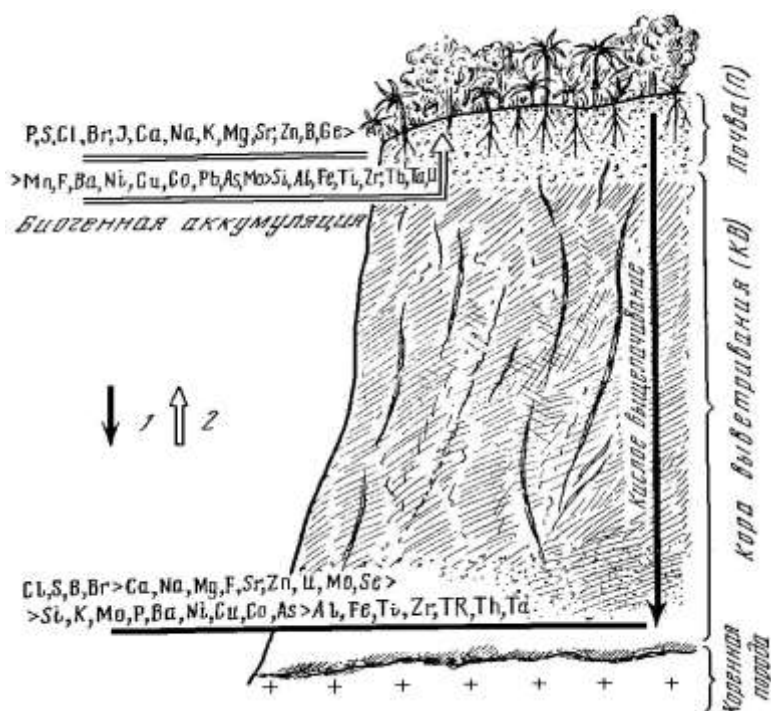


Рис. 15. Миграция химических элементов в элювиальной почве и залегающей под ней коре выветривания

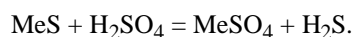
а полярных районах, пустынях, районах развития многолетней мерзлоты, на крутых склонах гор кора выветривания маломощна или даже отсутствует.

Меньшая биогенность коры выветривания по сравнению с почвами и илами определяет меньшее ее разнообразие. Кора выветривания и континентальные отложения в своем распространении подчиняются закону зональности. Однако эти зоны не соответствуют зонам почв – они значительно шире. Например, все степи и пустыни относятся к одной зоне коры выветривания, хотя на этой территории уместаются четыре почвенные зоны. На изверженных породах и под чер-

ноземной, и под каштановой, и под сероземной почвами образуется одна и та же кора выветривания – обломочная обызвесткованная.

А. И. Перельман (1989) в систематике кор выветривания выделил окислительный и глеевый ряды, а для нижних горизонтов и сероводородный (сульфидный).

Сернокислая кора окисленного ряда возникает при выветривании пород, богатых сульфидами, в первую очередь пиритом. Окисление сульфидов, в котором участвуют тионовые бактерии, приводит к появлению сероводорода, понижению рН. Начинается «сернокислое выветривание», легкая миграция Zn, Cu, Cd и других металлов. Серно-кислые растворы, просачиваясь из зоны окисления вниз, реагируют с первичными сульфидами с образованием сероводорода:



Так, в нижней части зоны окисления возникает сероводородный барьер, на котором осаждаются металлы.

При окислении сульфидных руд в известняках сернокислые растворы металлов усредняются с вмещающими карбонатами. В результате на щелочном барьере образуются гидроксиды и карбонаты металлов. Среди вторичных карбонатов металлов особо выделяются малахит и лазурит – зеленые и синие карбонаты меди.

Кислая кора выветривания окислительного ряда образуется во влажном климате. Богатый растительный покров определяет здесь энергичное поступление в кору из почвы углекислоты, гумусовых

ки-слот и других продуктов разложения растительных остатков. Для ней-трализации кислых продуктов не хватает катионов, и реакция вод со-храняется кислой, разложение минералов проходит в кислой среде, что определяет вынос большинства металлов. В кислой коре образуются каолинит, галлуазит и другие глинистые минералы. Наиболее энергич-ное кислое выветривание протекает во влажных тропиках (рис. 15). В нижних горизонтах коры в результате повышения рН концентриру-ются некоторые элементы, выщелоченные из верхних горизонтов.

Нейтральная и щелочная кора выветривания окислительного ря-да широко распространена в сухом климате. Выветривание здесь про-никает неглубоко, и кора имеет малую мощность. На скальных поро-дах она представлена обломками пород, покрытых корочками карбо-натов. Наиболее подвижный и накапливающийся мигрант – кальций, входящий в карбонаты. Богатство коры кальцием определяет ее сла-бощелочную реакцию, слабую миграцию железа и алюминия.

Кислая кора выветривания глеевого ряда образуется под глеевы-ми почвами, преимущественно на гумидных равнинах. Для нее харак-терны кислая реакция среды, вынос катионов и образование глинистых

минералов, преимущественно гидрослюдистого типа. Здесь высокая миграционная подвижность железа и марганца, частично фосфора и некоторых редких элементов. В северной части Западно-Сибирской низменности кислая глеевая кора представлена подпочвенными сизы-ми глеевыми горизонтами, обедненными железом и марганцем.

Отбеленные глеево-элювиальные горизонты широко распро-странены в коре выветривания (древние коры выветривания на Урале и в Казахстане). Их светло-серая окраска появляется в результате восста-новления соединений железа, их растворения и выноса из водоносных глеевых горизонтов. Главную роль в восстановлении элементов при-надлежит различным группам гетеротрофных организмов. Споронос-ные и неспороносные бактерии, грибы, актиномицеты окисляют орга-нические вещества при восстановлении металлов с переменной ва-лентностью. За счет этого микроорганизмы получают энергию, необ-ходимую для ассимиляции углекислого газа. Большая группа бактерий

и грибов выделяет специфические хелатообразующие соединения, из-влекающие трехвалентное железо из кристаллических решеток гидро-ксидов и одновременно переводящие его в двухвалентные формы. Из грибов в процессе хелатирования участвуют *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, из бактерий - *Bac. cereus*, *Bac. thuringiensis* и др. Большин-ство соединений двухвалентного железа окрашено в серовато-зеленоватые и голубоватые тона, поэтому наличие восстановительной глеевой обстановки легко определяется по внешнему виду пород. При быстром просыхании глеевые горизонты сохраняют серовато-голубоватую окраску. Очень часто они имеют светло-серый цвет из-за выноса из них восстановленных соединений железа. Наряду с низким содержанием железа они значительно обеднены катионогенными эле-

ментами (Co, Ni, Zn, Cu, Cr, Pb и др.).

Нейтральная и щелочная глеевая кора выветривания менее рас-пространена. Миграция железа в ней происходит на сравнительно не-большие расстояния и с малой интенсивностью, марганец мигрирует интенсивно.

Кора выветривания сульфидного ряда на земной поверхности не образуется, но горизонты с сульфидами возникают в нижней части коры окислительного ряда. В коре выветривания медноколчедановых месторождений Мугоджар нижние глинистые горизонты с пиритом серо-голубые, в то время как верхняя часть коры красная, с гидрокси-дами железа.

Водоносные горизонты как биокосная система. К водоносному горизонту литосферы относятся не только породы с движущейся во-

дой, но и прилегающие части водоупоров. Особенности водоносных горизонтов литосферы во многом связаны с деятельностью бактерий.

А. И. Перельман (1977, 1989) выделяет несколько классов водо-носных горизонтов:

и Водоносные горизонты окисленного класса имеют обычно желтый или рыжий цвет, обусловленный пленками гидроксидов желе-за, покрывающими частицы породы. Кислородный состав вод определяет возможность существования аэробных бактерий, энергично окис-ляющих органические вещества.

и Водоносные горизонты сильноокислого класса установлены в пиритизированных песчаниках. Окисление энергично развивается при тектонических поднятиях, когда поверхностные кислородные воды проникают в глубь земной коры. В окислении сульфидов важная роль принадлежит бактериям, в сотни раз увеличивающим скорость этого процесса. Образуется серная кислота, рН может опуститься до 1, по-вышено количество растворенных Fe, Al, Pb, Cu, As и др. Так, при окислении сульфидов в Карпатах резко возрастает минерализация вод (от 2 до 50 г/л), рН понижается до единицы и ниже, Eh колеблется от 360 до 700 мВ.

и Водоносные горизонты содового класса содержат гидрокарбо-натно-натриевые воды с минерализацией 0,5-5 г/л и рН 8,5-11. Сода может образоваться в них абиогенным путем: при выветривании на-триевых полевых шпатов, в ходе обменных процессов, а также накап-ливается в процессе сульфатредукции микроорганизмами. В содовых водах легко растворяются и мигрируют Mo, V, Se, U, Be, Sc, Ag.

и Водоносные горизонты глеевого ряда широко распространены на равнинах тундры, тайги, влажных тропиков. Органические веществ-ва являются причиной, вызывающей в них анаэробную обстановку. В результате разложения органических веществ бактериями воды обо-гащаются CO_2 и органическими кислотами, рН может снизиться до 4. Особенно энергична деятельность бактерий на водонефтяном контакте. Воды растворяются карбонаты вмещающих пород, и развивается карст.

и Водоносные горизонты сероводородного ряда формируются в результате микробиологического восстановления сульфатов. Содер-жание H_2S достигает 1-2 г/л. Там, где особенно активны бактерии в воды поступает также много CO_2 , снижается рН. В водах этого ряда неподвижны Cu, Zn, Pb. Eh обычно ниже нуля, местами понижается до -500 мВ. Там, где энергична деятельность бактерий, обычно происхо-дит и наибольшее снижение Eh. Поэтому самый низкий Eh характерен для водонефтяного контакта, где создаются особо благоприятные ус-

ловия для жизни бактерий. На нефтяном контакте сульфатредуцирую-щие бактерии столь активно окисляют углеводороды, что в воды по-ступает не только H_2S , но и много CO_2 , рН их понижается. Происходит также окремнение известняков, осаждение U, Mo.

К Выделяются также бывшие водоносные горизонты - участки ли-тосферы, ныне лишенные подземных вод, но содержавшие их в про-шлом. Следы биогенных процессов выражены в них в виде линейно вытянутых зон с оглеением, огипсованием, окремнением и т.д.

К водоносным горизонтам приурочены многие полезные иско-паемые, образующиеся на геохимических барьерах (медистые и ура-ноносные песчаники, серные руды и др.).

На протяжении геологической истории в осадочных породах на-капливалось органическое вещество, разложение которого обогащало подземные воды CO_2 , CH_4 , H_2S и другими активными соединениями. В результате усилилась геохимическая деятельность вод, для которой характерны две группы противоположных явлений. Первая связана преимущественно с изменением газового состава и выражается в раз-витии восстановительных и окислительных процессов. Восстанови-тельные процессы часто связаны с поступлением в подземную воду по разломам или по пластам жидких и газообразных углеводородов. Вос-становительные процессы развиваются и в результате погружения по-род, анаэробного разложения органического вещества. Окислительные процессы часто связаны с тектоническими поднятиями и инфильтра-цией кислородных вод.

Вторая группа явлений обязана преимущественно изменению ионного состава вод и выражается в увеличении и уменьшении их ми-нерализации, изменении рН.

Появление в протерозое резкоокислительных условий на земной поверхности неминуемо вызвало противоположные резковосстанови-тельные условия в илах озер и особенно в водоносных горизонтах. Следовательно, в результате биологического круговорота единая сла-бовосстановительная среда,

господствующая в архее, разделилась на две противоположности – резкоокислительную и резковосстановительную. Поэтому появление в подземных водах сероводорода, осаждение им сульфидов металлов явилось следствием развития резко окислительных условий земной поверхности. Сероводородные геохимические барьеры, сульфидные экзогенные руды возникли на определенной стадии развития земной коры в связи с развитием жизни.

4.5.2. Возникновение и эволюция почвенного покрова

Эволюция биосферы тесно связана с эволюцией почвенного покрова суши.

Растения избирательно поглощают многие элементы, концентрируя их не в тех соотношениях, в которых они находятся в горных породах и почвах. Если в последних преобладает кремний, алюминий, железо, то в растениях значительно больше калия, кальция, фосфора и серы. Корни растений перекачивают необходимые им элементы из нижних горизонтов в верхние, куда они поступают после отмирания организмов и разложения. Так проявляется биогенная аккумуляция, улучшается среда существования растений (рис. 16).

Важнейшая особенность почв связана с работой живого вещества, преимущественно микроорганизмов, разлагающих органические остатки. Миллионы и миллиарды микроорганизмов обнаружены в каждом грамме почвы. В ходе разложения органических веществ освобождается энергия, аккумулированная при фотосинтезе, не только в тепловой, но и в работоспособной химической форме. Разлагая остатки животных и растений, микроорганизмы изменяют состав почвенного раствора и воздуха, обогащая последний CO_2 , CH_4 , NH_3 и другими газами. Почвенные растворы, насыщаясь углекислотой, органическими кислотами и другими соединениями, становятся химически высокоактивными, они разлагают минералы, выполняют большую работу по их выветриванию. Чем быстрее в почве разлагается органическое вещество, тем богаче она энергией. С повышением химической активности вод связана дифференциация вещества в почвенном профиле, его неоднородность, расчленение на горизонты. В пределах почвенной толщи 0,5 м может проявиться кислотнo-щелочная и окислительно-восстановительная зональность.

Органические остатки при участии почвенных животных и микроорганизмов превращаются в специфическое органическое вещество почвы – гумус. Энергия, накопленная в почвенном гумусе суши, превышает суммарную энергию живущих на Земле организмов.

Наряду с биогенной миграцией в профиле почв идет физико-химическая миграция в водных растворах. Почвенные растворы, активизированные жизнью, промывают почвы на водоразделах, выщелачивая из них подвижные элементы. Реальное распределение химических элементов в профиле определяется взаимно противоположными процессами - биогенной аккумуляцией, направленной снизу вверх, и выщелачиванием, направленным сверху вниз (рис. 16). В почвах склонов

а низин эти процессы усложняются благодаря поступлению в них веществ с гидрохимическим стоком.

Однородная, однообразная мате-

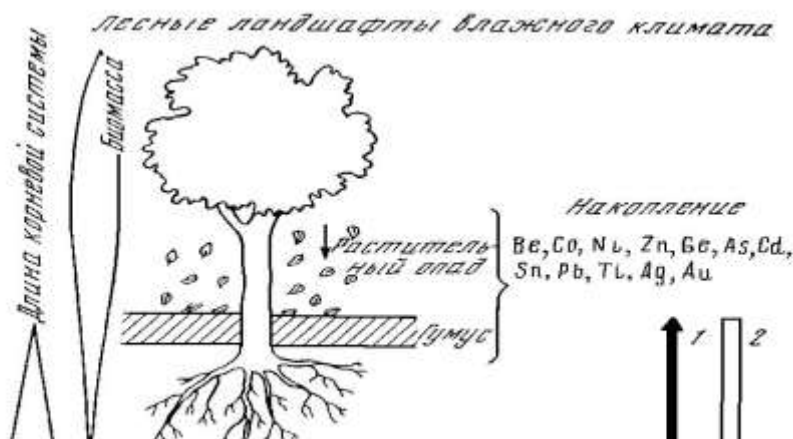


Рис. 16. Схема взаимно противоположных процессов – биогенной аккумуляции (1) и выщелачивания (2) в почвах разных ландшафтов (по А.И. Перельману)

Примечание: соотношение биогенной аккумуляции и выщелачивания определяет строение профиля важнейших типов почв. Ширина стрелок характеризует сравнительную интенсивность процессов, длина – сравнительную глубину проникновения процесса

ринская порода в результате почвообразования превращается в чрез-вычайно неоднородное тело. Разнообразие - это информационная характеристика. Поэтому почвообразование характеризуется не только накоплением энергии, но и накоплением информации.

Эволюция почвенного покрова. Первоначально в почвоведении особое внимание уделяли вопросам географии и химии почв. Биологическое направление связано с именем В. Р. Вильямса, который полагал, что сущность почвообразования заключается в создании и разложении органического вещества. Накопление органических веществ в почве изменяло режимы минерального и водного питания растений, вело к смене растительных формаций. Эволюция почв шла от тундровых почв через подзолистые и болотные к все более зрелым черноземам, а затем к сухостепным и к пустынным солончакам. Другими словами, в процессе воздействия жизни идут эволюционные преобразования водных бассейнов, климата, рельефа. В.Р. Вильямс абсолютизировал биологические факторы, не учитывая глобальных изменений климата, рельефа, уровня грунтовых вод.

Б. Б. Польшов (1945) стадии скального почвообразования рассматривал как общую схему эволюции почв. Скалы заселяются бактериями, способными извлекать из минералов элементы, изменяя их формы миграции и накопления, образуя вторичные глинистые минералы, мелкозем. Вслед за ними размещаются диатомеи и низшие грибы. Позже появляются простейшие и лишайники, которые обладают способностью не только химически, но и механически разрушать скалы. Мхи окончательно готовят почву для заселения высшими растениями. Таким образом, низшие формы организмов готовят условия существования для более высокоорганизованных растений.

Обычно средой возникновения жизни считают океан. Предшественниками живых организмов являются гиперциклы – молекулы органических веществ, способные воспроизводить себя. Они гетеротрофы, но океан - очень разбавленный раствор, в современном океане содержится 28 мг/л углерода, в основном HCO_3^- и CO_3^{2-} . В земной коре и лунном грунте углерода имеется на порядок выше - 100-200 мг/кг. Следовательно, в поровых растворах литосферы в период зарождения жизни концентрация органического

вещества могла быть выше и ги-перциклам питаться было проще. Минеральная матрица снабжала их катализаторами, например марганцем. Такие системы с гиперциклами могли образоваться на дне океана или на суше.

Л. О. Карпачевский (1995) считает, что минеральный субстрат с органическим веществом вполне соответствует понятию «почва». Первая примитивная почва была перегнойной (аналоги дерновых

почв). Период существования примитивных почв - 2 млрд лет (до расцвета высших растений). Косвенным доказательством этого является повышенное содержание углерода в древних отложениях. Были также вулканические слоистые почвы с погребенными перегнойными горизонтами. Около горячих источников образовывались перегнойно-ферралитные почвы. Развитие водорослей в кембрии захватило и океан, и сушу, они становятся автотрофными производителями органического вещества. Весь палеозойский слой почвы был очень тонким - мощностью несколько сантиметров.

В. А. Ковда связывает историческое развитие почв с преобразованиями биологического круговорота, возникающими в результате эволюции автотрофов и их экспансии на поверхности Земли. Он опирается на палеоботанические данные об эволюции растительного покрова и факты почвенной геохимии о почвообразовательной роли отдельных групп бактерий, грибов, растений. Выделяет пять этапов в эволюции почв:

- скальный почвообразовательный процесс, или первичное био-геохимическое выветривание;

- первичный почвообразовательный процесс; лесное и болотное тропическое
- почвообразование; возникновение луговых, черноземных почв; формирование современных
- почв.
-

Начало периода связано с выходом на сушу цианобактерий и некоторых групп водорослей. В этот период начал осуществляться синтез вторичных минералов, а также формировались болотные почвы. Лишь с широким расселением растительности кустарникового и древовидного типа (псилофиты, хвощи, папоротники) возникает подлинно почвообразовательный процесс примитивного вида. С появлением археоптериковой флоры стали формироваться кислые каолиновые, алитные, бокситовые, гидроморфные, обогащенные железом почвы. Развитый лесной гумусово-перегнойный горизонт сложился в эпоху доминирования антропофитовой флоры. Лесной опад давал материал для образования подстилки и гумуса, микробо- и микоценозы обеспечивали его трансформацию. В условиях доминирования голосеменных формировались кислые подзолистые почвы, желтоземы, красноземы, латериты, торфы. С появлением покрытосеменных, преимущественно трав, ослаб подзолистый и возникает дерновый почвообразовательный процесс, ведущий к образованию гумусированных черноземных и луговых почв. Так сложились все основные типы современного почвообразования: ферралитный, красноземный, желтоземный, подзолообразование, буроземный, черноземный, лугово-дерновый и др. Климатиче-

ские колебания приводили к перемещению почвенных зон, особенно ярко при оценке почвенного покрова в голоцене, после отступления ледника. С окончанием ледникового периода связано образование современного чернозема. Эта схема эволюции почвенного покрова тоже лишь гипотеза. Трудности познания эволюции связаны с тем, что маломощные почвенные покровы прошлых эпох уничтожены денудацией. Из доплейстоценовых почв (возраст 1 млн лет) сохранились лишь локальные участки.

Современный почвенный покров частично сформирован после таяния ледников, частично унаследован от доледникового периода. В настоящее время процесс развития почв нарушен. Под антропогенным влиянием резко ускорился процесс смены подзолообразования дерновым процессом. Распахка и строительство формируют искусственный почвенный покров. Площадь искусственной биосферы составляет 30 млн км², а площадь искусственных почв (распаханных, орошаемых и др.) - 15-17 млн км².

Работы В. И. Вернадского, А. Е. Ферсмана, В. Н. Сукачева, Ф. В. Кларка, В. М. Гольдшмидта, Е. Д. Рассела, В. А. Ковды позволили увидеть, что почвенный покров совместно с живым веществом планеты является важнейшим и незаменимым компонентом ее биосферы, энергетическим звеном экологических систем, создающих биологическую продукцию, и элементом пищевых цепей, регулирующих планетарные

и локальные энергетические процессы и биогеохимические циклы. Знание законов эволюции и динамики почв в экосистемах и биосфере позволяет ставить и дифференцированно решать в интегральном комплексе задачи как интенсивного увеличения биопродукции, так и оптимизации биосферы, управления геохимией углерода, кислорода, азота, фосфора и других, составом гидросферы, атмосферы, живого вещества в интересах человечества.

4.5.3. Биогеохимические и энергетические закономерности функционирования экосистем

Биокосные системы имеют разный порядок сложности, простые (илы, почвы, коры выветривания) входят в состав более сложных систем - экогеосистем (биогеоценозов, ландшафтов).

В экосистемах почва, кора выветривания, континентальные отложения, грунтовые и поверхностные воды, растительность, животный мир и приземной слой атмосферы тесно связаны между собой миграцией веществ и энергии. В отличие от других биокосных систем в них

ведущую роль играет фотосинтез, а не процесс разложения органических веществ.

Совокупность высших и низших организмов осуществляет в экосистемах биологический круговорот. А. А. Титлянова выделяет следующие основные составляющие биологического круговорота в наземных экосистемах:

- поглощение зелеными растениями из атмосферы углерода (некоторыми растениями и азота), корневыми системами из почвы азота, воды, зольных элементов с закреплением их в телах растительных организмов в виде сложных соединений (образование первичной продукции при фотосинтезе);

- и газообмен и водообмен между надземными частями растений и атмосферным воздухом, между корнями и почвенным воздухом;

- и прижизненные выделения надземными органами растений органических и минеральных веществ; вымывание химических элементов из живых растений дождевыми водами; выделение корневыми системами некоторых соединений и химических элементов в почву и атмосферу;

- и отчуждение животными частей растений, превращение пищи в организме животных и закрепление ее в виде новых органических соединений; последующее поступление органических и минеральных веществ в почву и атмосферу с прижизненными выделениями животных и с их трупами;

- и отмирание отдельных надземных и подземных частей растений при их жизни; отмирание растений целиком;

- и разложение органических остатков микроорганизмами, их ресинтез в виде микробальной массы; выделение части элементов в атмосферу и почву;

- и синтез органического вещества почвы и его распад с выделением освобождающихся элементов в почву и атмосферу.

Эти же элементы биологического круговорота характерны для водных экосистем, где осуществляется прижизненный обмен автотрофных (фото- и хемосинтезирующих) организмов с атмосферой, водными массами и донными отложениями - подводной «почвой».

Наиболее существенные черты экосистем связаны с биомассой и годичной продукцией растительности. Общие запасы фитомассы и интенсивность процесса ее продуцирования изменяются в широких пределах и зависят от положения экосистемы в определенном термическом поясе и биоклиматической области, а также от положения в рельефе. Запасы живой фитомассы составляют единицы тонн на гектар

и пустынях, первые десятки тонн на гектар в степях и болотах и первые сотни тонн на гектар в лесах.

Рассмотрим функционирование двух экосистем с наиболее энергичным и слабым влиянием живого вещества (Перельман, 1975, 1989).

Экосистема влажных тропических лесов характеризуется максимально энергичным биологическим круговоротом. Тепло и влага благоприятствуют многообразию жизни, только деревьев - сотни пород. Биомасса наибольшая на Земле - свыше 5000 ц/га. Энергетическая функция живого в этих экосистемах имеет максимальное проявление. Содержание микроэлементов в фитомассе на порядок выше, чем в лесах умеренного пояса. Разложение остатков организмов протекает также быстро, микроорганизмы работают энергично, поэтому биологический круговорот элементов характеризуется исключительной скоростью. Следовательно, интенсивно проявляется деструктивная функция живого вещества. Вследствие бурного разложения остатков организмов почвенные воды обогащаются CO_2 и органическими кислотами, это проявление средообразующей функции живого. В результате кислого выщелачивания (деструктивная функция) и на гранитах, и на базальтах, и на сланцах, и даже на известняках формируются сходные кислые красные почвы и коры выветривания, в которых остаточные накапливаются вторичные минералы гидроксидов железа и алюминия. В депрессиях рельефа широко развито оглеение. Резковосстановительная обстановка связана там с накоплением органического вещества, усиленной миграцией закисных соединений железа. При выходе глеевых вод на поверхность происходит окисление железа. Образуются железистые аккумуляции в виде плит - латеритов (средообразующая функция живого вещества).

Часть подвижных элементов постоянно удерживается в биологическом круговороте влажных лесов, и все же выщелачивание (биогеохимическая природа) столь велико, что экосистемы обеднены кальцием, выражен дефицит всех подвижных элементов, которые легко переходят в гидрохимический сток. А. И. Перельман называет лесные ландшафты центрами биосферы (наряду с поверхностными слоями океана), в них сосредоточена основная масса живого. Они играют ведущую роль в регуляции состава атмосферы. Процессы разложения органического вещества формируют состав природных вод. Сток этих вод оказывает глубокое влияние на процессы, происходящие в морях и океане.

Биомасса в пустынях в десятки и сотни раз ниже, чем во влажных тропиках; количество видов растений и животных также много меньше. Органические остатки почти полностью минерализуются до минеральных соединений, поэтому восстановителей в почвах и водах мало.

Господствует окислительная среда, элементы Fe, Mn, S, V, U находятся в наивысшей степени окисления. Углеродная и органические кислоты, образующиеся при разложении органики, полностью нейтрализуются кальцием, натрием и другими катионами почв и пород, поэтому здесь господствует нейтральная и щелочная среда. Кислая среда встречается лишь в зонах окисления сульфидных и серных руд. В природных водах содержится мало органических кислот, отсюда слабая миграция металлов. Воды бедны свободной энергией и неагрессивны. Они не растворяют, не разлагают, поэтому их воздействие на почвы и породы невелико. Но при близком залегании грунтовых вод развивается засоление почв. В условиях слабого выщелачивания огромное значение приобретает химизм пород, который определяет особые почвенно-геохимический и биогеохимический фоны. Таким образом, низкая активность жизни и слабое преобразование неорганических компонентов экосистемы в экосистемах пустынь взаимосвязаны; их характер определяется радиацией, температурой и осадками.

Тема 5

ПЕРИОДИЗАЦИЯ ИСТОРИИ БИОСФЕРЫ

5.1. Космические и планетарные предпосылки эволюции жизни и биосферы

Предполагается, что Земля наряду с другими планетами возникла из газопылевого облака в результате гравитационной конденсации. Отдельные частицы соединились в небесное тело, размер которого возрастал в результате падения на него новых частиц под действием сил притяжения. В ходе формирования Земли происходило постепенное разогревание ее глубоких слоев под влиянием выделения тепла при распаде ряда радиоактивных элементов (урана, тория, калия и др.). Наряду с этим значительное количество тепла выделялось при сжатии Земли под действием силы притяжения и при падении на планету око-лосолнечного вещества. Нагревание способствовало ее дифференциации на несколько сфер. Центральная из них - составленное из более тяжелых элементов ядро с очень высокими температурами и давлением. Ядро окружено состоящей из менее тяжелых элементов, но также разогретой до очень высоких температур мантией. Наиболее легкие элементы мантии, поднимавшиеся на ее поверхность, образовали зем-ную кору.

Сведения о содержании долгоживущих изотопов радиоактивных элементов свидетельствуют о том, что наиболее древние породы зем-ной коры возникли 3,4-3,8 млрд лет тому назад. Наряду с этим счита-ется, что возраст Земли составляет 4,5-4,7 млрд лет (по некоторым данным около 7 млрд лет). В настоящее время очень редки породы, образованные на протяжении первого миллиарда лет существования Земли, возможно на первом этапе истории планеты интенсивность бомбардировки ее поверхности сравнительно крупными небесными телами не позволяла сформироваться постоянной земной коре.

О возрастом древнейших пород планеты совпадает время появле-ния первых следов живых существ. В сильнометаморфизированных осадочных породах Западной Гренландии, возраст которых достигает 3,8 млрд лет, соотношение изотопов углерода позволяет предполагать влияние на формирование этих пород автотрофных организмов. Следы

микроорганизмов были обнаружены в Западной Австралии в слоях, возраст которых составляет около 3,5 млрд лет. В отложениях Южной Африки найдены следы цианобактерий, существовавших свыше 3 млрд лет назад. Таким образом, возникают основания для предполо-жения о том, что первые организмы появились через относительно короткое (с геологической точки зрения) время после формирования земной коры. Земная кора могла возникать и затем разрушаться, по-этому нельзя исключить, что жизнь на Земле появлялась и временно исчезала в эпохи формирования постоянной земной коры.

Данные геохимии и космохимии свидетельствуют о широких возможностях образования органических веществ как предшественни-ков жизни в определенных космических условиях. Органические со-единения обнаружены в метеоритах. Большинство их соответствует универсальным звеньям обмена веществ в живых организмах: аминокислотам, белковоподобным полимерам, моно- и полинуклеотидам, порфиринам и др. Но во всех органических веществах метеоритов не обнаружено дифференциации по оптической активности, что свиде-тельствует об их абиогенном происхождении. Космохимия астероидов

и комет позволяет допустить, что большинство их состоит из материа-ла, близкого углистым хондритам. Последние представляют собой си-ликатные минералы различной степени кристаллизации, богатые органическими высокомолекулярными веществами: насыщенные углево-дороды, алканы, циклоалканы, ароматические углеводороды, карбоно-вые кислоты, азотистые соединения с молекулярной массой 550-610. Таким образом, образование органических соединений в Солнечной системе на ранних стадиях ее развития было типичным и массовым явлением. На заключительных этапах остывания Солнечной туманно-сти происходил синтез органических веществ как следствие химиче-ской реакции между H_2 , CO и простейшими соединениями азота. С помощью экспериментов было обнаружено, что когда эти вещества вступают в

реакцию при температуре, близкой к 400° К, в присутствии никеля, алюминия или глинистых материалов, то среди конечных продуктов реакции оказываются многие органические вещества, включая аминокислоты. Возникшие в космических условиях органические вещества вошли в состав многих тел, но лишь на Земле реализовались возможности прогрессивной эволюции, обеспечившие быстрое появление саморегулирующих высокомолекулярных систем - непосредственных предков живых организмов. Органические вещества космического происхождения попадали на растущую Землю на последних стадиях ее аккумуляции совместно с материалом типа углистых хондритов. В дальнейшем при радиоактивном нагреве первичной мантии выдели-

лись газы и пары, породившие атмосферу и гидросферу. При этом были вынесены и органические соединения, которые в дальнейшем изменились в сторону прогрессивной эволюции, находясь в тесном контакте с твердыми фазами различной степени размельчения (Будыко, 1984).

У 1924 г. А.И. Опариным, а позднее Дж. Холдейном (1929) на основе обобщения накопленных естественных фактов была сформулирована гипотеза, рассматривающая возникновение жизни как результат длительной эволюции углеродных соединений. На восстановительную вторичную атмосферу воздействовали потоки энергии: коротковолновое ультрафиолетовое излучение, а также ионизирующее излучение Солнца (сейчас оно экранируется озоновым слоем атмосферы), электрические разряды (грозы, коронные разряды), местные источники тепла вулканического происхождения. В этих условиях мог идти активный химический синтез, при котором из газов вторичной атмосферы через такие промежуточные продукты, как синильная кислота, этилен, этан, формальдегид и мочевины, образовывались сначала мономеры, а затем и простейшие полимеры. Так как окисления не происходило, воды океана обогащались такими соединениями, как аминокислоты, пуриновые и пиримидиновые основания, сахара, карбоновые кислоты, липиды, образуя так называемый «первичный бульон». Могли идти процессы осаждения, разделения и адсорбции, а на поверхности минералов (например, глины) – и дальнейший синтез более сложных соединений.

На следующем этапе химической эволюции происходило образование биополимеров - так называемых протеиноидов (первичных белков), а также нуклеиновых кислот, между которыми начались взаимодействия. Подходящий протеиноид способствовал более быстрому и правильному размножению молекул нуклеиновой кислоты, а с другой стороны – нуклеиновая кислота начала кодировать преимущественно подходящие для нее белки. Так начался каталитический циклический процесс.

Высокомолекулярные органические соединения образуют коллоидные растворы, имеющие тенденцию образовывать сгустки, которые называли коацерватными каплями или коацерватами. Коацерваты могут адсорбировать различные вещества, в них существует некоторая упорядоченность частиц. В коацерваты могут осмотически поступать их окружающей среды химические соединения, идти синтез новых соединений и за счет этого «коацерваты могут «расти». При сотрясении коацерваты могут дробиться, а вновь образовавшиеся капли сохраняют основные свойства исходного коацервата.

Предполагают, что обособленные системы молекул, способные взаимодействовать с внешней средой, ограниченные от окружения, являлись пробионтами – предшественниками настоящих клеточных организмов. Органические соединения они получали из «первичного бульона», так что им не нужны были ферменты.

По мере обеднения органическими веществами «первичного бульона» для пробионтов селективным преимуществом стало обладание плазматической мембраной, защищающей от потери различных соединений путем диффузии, и способность избирательно их накапливать. Давление естественного отбора стало благоприятствовать формам, способным к синтезу жизненно важных веществ. Устойчивость существования могла быть достигнута путем создания ферментных систем, контролирующих синтез тех или иных соединений. Наиболее важным было создание генетического кода, обеспечивающего воспроизведение себе подобных и наследование последующими поколениями свойств предыдущих.

По последним данным, этот процесс становления механизмов самокодирования начался около 3,4 млрд лет назад и занял не менее 500 млн лет, в два с лишним раза больше времени, чем развитие млекопитающих от их предков – рептилий.

Ю. А. Колясников (1998) предлагает оригинальную гипотезу предбиологической эволюции. 4 млрд лет назад на стадии пульсирующего расширения планеты началась возгонка всей образующейся в процессах выплавления магм воды в подвешенное облачное состояние. Затем эндогенный поток тепла из мантии резко снизился и развился процесс остывания поверхности планеты и нижних слоев атмосферы.

в составе сгущающихся облаков уже шел синтез предбиологической органики из метана, циана, угарного газа, угольной кислоты, сернистого газа, сероводорода и др., подобно тому, как это происходит в пеплово-газовых тучах при вулканических извержениях. На охлажденной силикатной протокооре начался рост гидросферы.

П. Кюри и В. И. Вернадский считали, что правизна-левизна живого вещества есть следствие дисимметрии среды. По модели Ю. А. Колясникова, в жидкой воде роль молекул играют не H_2O , а сверхсжатые тетрамеры H_8O_4 , которые по распределению внутренних водородных (Н-) связей могут быть зеркально симметричными. Подобной симметрией обладают соразмерные кремнекислородные тетраэдры – «кирпичики» литосферы. Тетрамерная спиральная цепочка воды на силикатном субстрате могла быть как левовращающей, так и правовращающей. На левовращающей спиралевидной цепочке синтезировалась соответствующая аминокислота. Так заработал водно-

матричный синтез аминокислотной органики, что подтверждено экспериментами. На правых тетрамерных цепочках начался синтез сахаров – основы нуклеиновых кислот. Синхронный синтез полипептидов и полинуклеотидов сопровождался генерацией водных полимеров и привел к образованию сложных нуклеопротеиновых комплексов с записью в их примитивной РНК однозначного генетического кода. Предбиологическая органика формировалась в пленке растворов на литосфере. Образовалась тонкая пленка связанного водой густого кислого бульона из объемной сети нуклеопротеинового комплекса. Свободная вода на определенном этапе стала разбавлять этот бульон, который делился на фрагменты и изолировался от «чуждой» воды путем образования белковых капсул разного состава; затем появились митохондрии, хлоропласты, плазмиды, первые клетки.

Первые живые организмы были гетеротрофами – организмами, использующими в качестве источника энергии органические вещества. Для поддержания жизнедеятельности они захватывали из окружающей среды абиогенные органические вещества. Затем у наиболее развитых организмов сформировались различные процессы брожения. Атмосфера, в которой содержание углекислого газа все возрастало, позволяла частично покрывать потребность в углекислоте за счет ассимиляции CO_2 . По мере уменьшения содержания органических веществ в окружающей среде преимущество получили организмы, которые были способны синтезировать органические вещества из неорганических, используя дополнительные источники энергии. Такие организмы называли автотрофными.

Первыми появились хемотрофы, способные использовать энергию окисления-восстановления минеральных веществ. Вторым способом получения энергии стало использование солнечного света; фотосинтез – способность использовать световую энергию для синтеза органических соединений из CO_2 и H_2O , выделяя при этом O_2 .

Английский физик и биохимик, лауреат Нобелевской премии в области физиологии Фрэнсис Крик (2002) предлагает и обосновывает необычайную гипотезу внеземного происхождения жизни – направленной панспермии. Корни нашей формы жизни тянутся в другую часть Вселенной, где жизнь достигла высшей формы, прежде чем зародилась на Земле. Источником жизни на планете Земля послужили микроорганизмы, посланные на каком-либо виде космического корабля высшей цивилизацией.

Возраст Вселенной, время, прошедшее с Большого взрыва, оценивают периодом от 7 до 20 млрд лет, общепринятой считается цифра

–

10 млрд лет. Развитие планет и химических веществ заняло около 1

млрд, остается 9 млрд. Возраст Земли примерно в два раза меньше. Даже по земному сценарию жизнь могла возникнуть на какой-либо дальней планете 9 млрд лет назад, а разумные ее формы 4-5 млрд лет назад могли отправить на молодую Землю некую примитивную форму жизни.

При колонизации космоса эти разумные существа могли поставить задачу подготовки подходящих планет для заселения. Направленная панспермия служила способом создания кислородной атмосферы в местах, которые могут заселить потомки. Возможно, они установили, что жизнь - это действительно очень редкое явление, может, даже, считали себя единственными в своем роде. При угрозе неизбежной гибели по космическим, планетарным причинам эти разумные существа могли пытаться решить задачу распространения «семян» жизни в подходящих планетарных системах.

Общее количество звезд всех типов в нашей галактике составляет приблизительно 10^{11} (сто миллиардов). Даже если одна десятая из них имеет планетарные системы нужного характера, а одна на сотню - планету подходящей величины на нужном расстоянии от своей звезды, то около миллиона планет нашей галактики имеют условия для зарождения жизни (наличие воды, определенной атмосферы и др.). Даже если их только десять тысяч, то исходя из размеров галактики среднее расстояние между ними составит несколько тысяч световых лет. Прокариоты могут сохраняться в замороженном виде почти неограниченное время в непилотируемом космическом корабле, направленном к подходящей планетарной системе. Для зарождения жизни достаточно небольшого количества (может быть, даже одной клетки) микроорганизмов, похожих на наши бактерии, которые могут жить в очень простой химической среде, содержащей лишь один источник углерода, один источник азота и некое соединение, обычно, но не всегда, органическое, которое они могут использовать для получения энергии.

Ф. Крик считает, что в настоящее время мы не имеем ясного представления о том, как водянистый раствор органических молекул (первичный бульон мирового океана) мог привести к появлению примитивной живой системы. Гипотезу направленной панспермии нельзя ни подтвердить, ни опровергнуть на основе современных знаний. Если со временем выяснится, что по той или иной причине самозарождение жизни на Земле почти невозможно, то на планете с другими условиями она могла зародиться легче и, возможно, развиваться быстрее.

Информационные аспекты эволюции биосферы. В. И. Вернадский писал: «Жизнь для нас научно известна только как закономерная часть биосферы: жизнь вне биосферы не существует - есть нереальная абстракция» (Вернадский, 1980. С. 287). Он отвергал правомерность, казалось бы, очевидного представления о том, что свойства живого в полной мере присущи отдельному организму, перенося эти свойства на планетарную организацию жизни - биосферу. Известный зоолог В. Н. Беклимишев также утверждал, что мы знаем жизнь только в виде отдельных живых существ, но ни один организм не обладает действительной автархией. Жизнь организована в планетарном масштабе. Дж. фон Нейман, обсуждая идею создания самовоспроизводящихся автоматов, указывал на то, что в ходе процесса неизбежно уменьшение их сложности. Организмы же воспроизводят себя без уменьшения сложности, встречаются даже периоды, когда сложность живого возрастала. По мнению М. М. Камшилова (1974), живые организмы так же не являются самовоспроизводящимися системами. Они воспроизводят себя в условиях очень сложной среды, в биосфере, извлекая из нее информацию. Чем сложнее организм, тем большую информацию извлекает из иерархической организованности биосферы.

Любой организм избирательно обменивается со средой веществом и энергией, но для этого он должен получать информацию о состоянии среды, «предвидеть» закономерности ее изменений в пространстве и времени. Информационные сигналы из среды обеспечивают согласованность вещественно-энергетического обмена с суточными, месячными и сезонными изменениями геофизических процессов.

Информационные сигналы регулируют процессы, протекающие внутри организма, взаимоотношения между организмами, взаимодействия организмов с геофизической средой и, наконец, взаимосвязи биосферы с ее космическим окружением.

А. С. Пресман (1976) считает, что слабые электромагнитные поля (ЭМП) - носители информации на всех уровнях иерархии биосферы. Электромагнитная сигнализация осуществляется из внешней среды

организмам, внутри организмов, между организмами, в их группах, сообществах и в биосферу из космического окружения. ЭМП распространяются в любых средах обитания жизни - в речной и морской воде, в почве, в тканях организма, могут передаваться при любых метеорологических условиях, на любые расстояния по планете. Все биосистемы реагируют на ЭМП. Земная атмосфера прозрачна для ЭМП.

Чувствительность к ЭМП возрастает со степенью усложнения биосистем: от макромолекул к клеткам, органам, организму. Возрастает от простейших организмов до хордовых.

Естественные ЭМП в биосфере простираются в широком спектре частот. Регулярно изменяющиеся ЭМП несут информацию организмам, обеспечивающую согласование ритмов их жизнедеятельности с периодическими вариациями геофизических факторов (освещенности, температуры, давления), а также информацию для пространственной ориентации организмов.

По гипотезе А.С. Пресмана, в яйцеклетке заложена общая программа развития организма с признаками, наследуемыми от родителей,

- реализация этой программы связана с восприятием зародышем (от одной его стадии развития к другой) информации - сигналов ЭМП от все более сложных организмов биосферы, начиная от простейших до вида данного организма. Индивидуальное развитие регулируется не только сигналами ЭМП из органической природы биосферы, но и информацией о периодических изменениях геофизической среды.

Углеродистые соединения и их производные широко распространены во Вселенной. Образование из этих «заготовок» живых организмов на нашей планете чаще всего рассматривается как самоорганизация при помощи случайных изменений и естественного отбора. Одна-ко по подсчетам Л. А. Блюменфельда вероятность случайного образования ДНК составляет всего 10^{-800} . Кибернетики утверждают, что самоорганизующихся систем в природе не существует. Прогрессивный направленный ход макроэволюции - усложнение организации биосферы, проявляющееся в увеличении многообразия видов. Совершенствование взаимодействий между организмами, группами и, наконец, всей живой природы с неживой, по-видимому, не достаточно объяснить только случайностью и отбором.

Протопланетный этап развития Земли был связан только с извлечением энергии из космического пространства - лучистой энергии Солнца, энергии космических лучей и т. д. По мере образования земной коры и атмосферы из космической среды извлекается не только энергия, но и «порядок» - организация. Это проявляется в ритмичности, ориентированности, симметрии атмосферных, магнитосферных и ионосферных процессов, причем все эти проявления пространственно-временной организации биосферы отражают соответствующую организованность солнечных и космических процессов. На этой энергоинформационной стадии формирования биосферы космическая энергия и информация воспринимаются «по одному каналу» - информация слита с энергией, утилизирующейся в процессах образования зональных структур Земли. На этой стадии и возникали, по-видимому, простейшие органические вещества как закономерная часть геохимических процессов в земной коре и атмосфере.

Новая стадия началась с формированием гидросферы (мирового океана)- водного раствора органических и минеральных соединений, которая становится «колыбелью жизни». Гидросфера - гетерогенная неравновесная система; современные экспериментальные и теоретические исследования приводят к следующим заключениям о свойствах воды:

- вода - это кооперативная система, в которой всякое воздействие распространяется «эстафетным» путем на тысячи межмолекулярных расстояний, т.е. имеет место дальное действие;

водной среде могут образоваться и длительное время сохраняться метастабильные системы (например, гексааквакомплексы кальция), придающие ей чувствительность к слабым внешним воздействиям;

образование таких структур, а также большого количества центров кристаллизации может происходить в результате активации различными физическими воздействиями, особенно электромагнитными;

вода может активироваться ЭМП земного и космического происхождения.

Первичная гидросфера могла активизироваться корпускулярными и электромагнитными излучениями Солнца, космическими лучами, грозowymi разрядами и т.п. Излучения стали носителями пространственно-временной информации, накапливая которую гидросфера образует кооперативную систему первичной жизни. Прimitивные одноклеточные образовались путем симбиоза «доорганизмов», что также происходило в соответствии с принципами пространственно-временной организации под влиянием космической информации.

Комплекс одноклеточных организмов способен преобразовывать среду. По В. И. Вернадскому, появление жизни на планете было одно-временно началом эволюции жизни и биосферы. Биосфера способна извлекать информацию из космического окружения, на фоне относительной устойчивости вещественно-энергетических показателей усложняется ее организованность.

В процессе эволюции повышается организованность живых организмов, возрастает запас внутренней информации, что открывает новые возможности для поглощения дополнительной информации.

5.2. Периоды эволюции биосферы

На ранней Земле возникали органические соединения, в результате химической эволюции зародилась жизнь. Возникновение жизни могло происходить в океане или в земной коре. Существует также гипотеза о заносе жизни из космоса с метеоритами и космической пылью. По В. И. Вернадскому, жизнь возникла в форме биологического круговорота, а наиболее крупные этапы в эволюции биосферы были связаны, как правило, с появлением новых групп организмов, выполняющих специфические геохимические и энергетические функции в экосистемах. Он отмечал четыре крупных этапа в истории биосферы: появление первичных автотрофов, возникновение животных с кальциевым скелетом, формирование лесных биогеоценозов и, наконец, создание ноосферы.

Эволюция биосферы и эволюция жизни по существу два тесно связанных процесса, так как доминирующее положение в биосфере всегда занимали формы с наиболее прогрессивным механизмом эволюции. В пределах крупных экологических зон всегда имелись доминантные биоценотические отношения, образуемые видами доминирующих классов. Их представители образуют громадное количество видов. В силу доминирующего положения в экосистемах на данном этапе развития биосферы эти таксоны оказывали существенное влияние на геохимические и энергетические функции биосферы, а специфические закономерности эволюции доминирующего типа стали важными критериями для выделения того или иного этапа в истории биосферы. Переломные моменты в развитии биосферы и перестройка механизмов эволюции у доминирующих таксонов совпадают во времени. Современная геохронология установила общую последовательность развития живого, основные преобразования флоры и фауны и т.д.

В. В. Ковальский (1963) выделил в развитии живой природы протобиосферу, биосферу и ноосферу и рассмотрел особенности биологического круговорота на каждом из них. Однако первый и последний этапы развития биосферы выходят за рамки биоистории.

Д. И. Сапожников (1959) предложил при выделении основных этапов в эволюции живого исходить из эволюции типов обмена веществ:

и первичные гетеротрофы: эволюция типов питания на первом этапе состояла в постепенном преобразовании гетеротрофов, способных усваивать соединения, только очень богатые энергией, в гетеротрофы, способные использовать продукты ассимиляции первичных форм;

4. гетеротрофные усвоители CO_2 : на втором этапе возникла автогетеротрофность, т.е. автотрофность в отношении аминокислот и витаминов при способности усваивать аммиачный азот;

5. хеморедукторы: с возникновением хеморедукции усвоение углекислого газа осуществлялось за счет энергии неорганического вещества в анаэробных условиях;

6. фоторедукторы: на четвертом этапе появилась способность к фоторедукции (использование световой энергии для различных окислительно-восстановительных реакций);

7. фотосинтетики: становление фотосинтеза: повышение окислительно-восстановительного потенциала, появление и совершенствование железосодержащих ферментных систем, включение в обмен свободного молекулярного кислорода.

По мере становления механизма фотосинтеза анаэробизм сменялся аэробизмом и в атмосфере начал накапливаться биогенный кислород, влияющий на весь ход геологических, геохимических, биологических процессов в биосфере. Однако в концепции этого автора нет связи эволюции типов обмена веществ с коренными переменами в биосфере.

Р. В. Фейбридж (1970) для выделения этапов в истории биосферы предложил использовать биолиты угольного ряда и карбонатных пород. Выделил 5 этапов, названных «биогеохимическими революциями»: возникновение жизни на земле - $3,8 \pm 0,3 \cdot 10^9$ лет, появление первых фотосинтезирующих организмов - $2,9 \pm 0,2 \cdot 10^9$ лет, возникновение организмов с карбонатными раковинами - $6,2 \pm 0,3 \cdot 10^8$ лет, великая эпоха образования углей - $2,5 \pm 0,3 \cdot 10^8$ лет, общебиосферное распространение фораминифер - $1,0 \pm 0,2 \cdot 10^8$ лет. Эта периодизация популярна у геохимиков при изучении геохимических особенностей архейских, протерозойских, палеозойских и мезозойских биосфер.

М. А. Голубец (1982) выделяет следующие наиболее крупные переломные этапы в истории: этап гетеротрофной биосферы в условиях восстановительной обстановки, этап существования организмов в условиях окислительной обстановки, этап антропогенного воздействия на процессы биосферы.

Рассматривая историю кислорода в атмосфере, Г. А. Заварзин (1984) назвал следующие этапы доминирования в биосфере геохимических процессов от настоящего времени к прошлому:

- циклический механизм, обусловленный высшей наземной растительностью и грибами, а также животными, ведущий к формированию гумуса за счет лигноцеллюлозы с нижней границей около 0,4 млрд лет назад;

циклический механизм, обусловленный эукариотными водорослями и беспозвоночными океана примерно 1,5-2 млрд лет назад;

- цианобактериальные сообщества и их анаэробное разложение, формирование строматолитов, окисление резервуаров восстановленных веществ, поставляемых экзотическими, - до 3,5 млрд лет назад;

- фотохимические реакции в примитивной атмосфере у поверхности Земли.

Б. С. Соколов (1976) считает, что простейшие эубионты (пред-биологические формы) появились на Земле ранее 4,25 млрд лет назад, возникновение механизмов фотосинтеза у прокариотных пробионтов произошло 3,7-2,5 млрд лет назад, а достоверное появление эукариотов - 1,6-1,35 млрд лет назад. Позднее он выделил биосферу с прокариотной энергетикой (возраст 3760-1900 млн), когда трофическая структура биосферы и биогеохимические функции обитателей были иные, чем в наше время. К важнейшим этапам истории биосферы относится появление эукариот - 1900 млн лет назад, возникновение многоклеточных организмов - 900 млн лет назад, развитие биоминерализации у животных - 570 млн лет назад, заселение суши растениями и животными, появление настоящих почв - 400 млн лет назад, появление покрытосеменных - 130 млн лет назад, появление ноосферы.

В. А. Ковда (1985) с учетом эволюции жизни и эволюции биокосных систем планеты выделяет следующие основные этапы развития биосферы Земли и их продолжительность (лет назад):

Время сгущения межзвездного вещества и образования планеты Земля	$4,5-5 \cdot 10^9$
Стадия безжизненного геологического развития -	$4,5-3 \cdot 10^9$
Появление автотрофных бактерий в водах суши и в океане; начало примитивного скального и подводного почвообразования	$3-2,5 \cdot 10^9$
Начало фотосинтеза, развитие водорослей, лишайников, мхов, формирование первоначальной биосферы и усложнение примитивного почвообразования	$1,5-1 \cdot 10^9$
Развитие и господство лесной растительности на суше, формирование кислородной атмосферы, мощных алитных кор выветривания, болотно-аккумулятивного и кислого почвенного покрова; развитая биосфера	$0,5-0,3 \cdot 10^9$
Остепнение суши, появление травянистой растительности, оформление современного лика материков, природных зон, биосферы, развитого почвообразования, постепенное похолодание, сухость	$100-30 \cdot 10^6$

159

Ледниковые и межледниковые эпохи, появление человека	$2-3 \cdot 10^6$
Послеледниковая эпоха	$10-20 \cdot 10^3$
Агрикультура и техногенно-индустриальная эпоха	Совр. – $20 \cdot 10^9$

Вышеизложенное показывает, что для периодизации истории биосферы не выработаны единые критерии. Э. И. Колчинский (1990) считает, что для разработки проблемы эволюции биосферы необходимо дальнейшее уточнение представлений о эволюционно-биосферных формациях как главных этапах, каждый из которых характеризовался особыми структурно-функциональными и эволюционными закономерностями. Он предлагает некоторые названия эволюционно-биосферных формаций: катархейская эобионтная, архейская протобионтная, протерозойская прокариотная, протерозойская эукариотная и т.д. и дает пример возможной характеристики одной из первых формаций, называя ее протерозойской прокариотной.

Область распространения протерозойской прокариотной биосферы тогда была ограничена мелководьями, так как разрушительное действие ультрафиолетовых лучей при отсутствии озонового экрана не позволяло существовать наземным формам. Плотность заселения жизнью определялась преимущественно физико-географическими факторами, прямо воздействующими на продуктивность

ценозов. В процес-се растекания жизни по поверхности происходила дифференциация живого на скопления, приспособленные к качественно различным комплексам абиотических факторов: температура, прозрачность вод, наличие минеральных соединений и т.д. Возникновение прокариотов существенно изменило взаимоотношения организмов со средой: нача-ли формироваться первичные микробценозы, аналоги которых и сей-час существуют в водоемах, непригодных для жизни высокоорганизо-ванных форм. Если предбиологические формы (пробионты, зубионты) не вступали между собой в устойчивые связи, то у прокариотов возни-кали аллелопатические связи, симбиотические, фагоцитозные взаимо-действия, послужившие в дальнейшем основой для развития экологи-ческих отношений. Все большее значение приобретает взаимодействие живого с живым. Отныне соответствие только абиотической среде и наличие пищевых ресурсов оказываются недостаточными для выжи-вания. Успеха добиваются более конкурентоспособные организмы. Сами агенты отбора становились сложными, а специализация - одно из важнейших условий сохранения вида. Сущность отбора заключалась в переживании наиболее приспособленного не только к абиотическим, но и к биотическим факторам.

При освоении новых зон жизни испытывались разнообразные способы использования энергии и обмена веществ (фотолитотрофные, фотоорганотрофные, хемолитотрофные, хемоорганотрофные бакте-рии). Многие из бактерий способны переходить с дыхания на броже-ние и обратно при изменении содержания кислорода. Биохимические преобразования преобладали на этой стадии эволюции биосферы. В экосистемах данной формации существовали лишь две основные группы организмов: цианобиты и бактерии, - которые и обеспечивали синтез и разложение органических веществ. Функция консументов практически отсутствовала в этих древних экосистемах.

Если судить по общей биомассе современных бактерий, то био-масса этой формации была меньше биомассы последующих.

Несмотря на некоторую простоту экосистем протерозойской про-кариотной формации, результаты ее функционирования оказались грандиозными с геохимической и энергетической точек зрения. В ее рамках уже сложились существенные черты строения биосферы: фото-синтезирующие организмы стали главными источниками энергии всех биологических процессов. В результате их жизнедеятельности сфор-мирована и стабилизирована кислородная атмосфера. Микроорганиз-мы изъяли из первичной атмосферы громадные количества углекисло-го газа, превратив его в мощные залежи карбонатов. Благодаря их жизнедеятельности происходило очищение атмосферы от ядовитых газов вулканического происхождения. Они сыграли важную роль в регулировании солевого состава морей и океана, в стабилизации ос-новных химических свойств гидросферы. С их жизнедеятельностью связана не только смена обстановки из восстановительной в окисли-тельную, но и формирование громадных месторождений железных и полиметаллических сульфидных руд, фосфоритов и т.д . Развитие этой формации не только предопределило всю дальнейшую судьбу органи-ческой эволюции, оно решило вопрос: быть или не быть на планете сложным формам жизни.

— отличие от предшествующих организмы данной формации имели клеточную оболочку, что создавало возможность для развития внутриклеточных обменных процессов и оградило генетический аппа-рат от среды. В повышении устойчивости наследственной информации важную роль сыграло возникновение хромосом и митотического аппа-рата ее редупликации. Характерными факторами этой формации были микроскопические размеры, ультракороткий срок жизни особи, высо-кая плодовитость, громадная численность популяций, пассивность

организма, развитие химической регуляции (через среду) в биоценоти-ческих отношениях, еще слабая расчлененность изменчивости на гено-типическую и фенотипическую. Эволюционные процессы прокариот-ной формации были крайне неэкономными. Для одного шага эволю-ции требовались сотни миллиардов особей. Вновь возникшая мутация не могла быть сохранена в рецессиве и подвергалась немедленной проверке. Широкое распространение получили формы обмена генети-ческой информацией между различными группами организмов. Этот горизонтальный перенос генетической информации позволяет гово-рить о наличии единого генофонда биосферы на данном этапе разви-тия.

Творческая роль отбора проявлялась преимущественно в сумми-ровании полезных мутаций, его основными направлениями были от-бор на координацию биохимических процессов в клетке, на большую плодовитость и т.п. Дав начало более высокоорганизованным формам, прокариоты в дальнейшем изменялись очень мало, совершенствуясь главным образом биохимически и биофизически в пределах достигну-того уровня.

и результате крупных эволюционных изобретений (образование клеточного ядра, возникновение полового процесса и диплоидности и т.д.) существенно изменились движущие силы эволюции, что послужило основой для перехода к новой протерозойской эукариотной эволюционно-биосферной формации, в которую предшествующая вошла не просто в качестве эволюционного уклада, но и составила базу ее энергетико-геохимических процессов. Если бы внезапно исчезли все прокариоты, то вряд ли биосфера могла сохраниться.

Есть работы, в которых определяются специфика эволюции живых организмов и характерные черты протерозойской эукариотной формации (Ю.И. Полянский, Л. Н. Серавин и др.) или формации, где доминировали покрытосеменные и млекопитающие (Э.И. Колчинский, К.М. Завадский). При классификации формаций ученые объединяют данные общей и частной теорий эволюции с материалами палеобиологии, исторической геологии, палеобиогеохимии, палеогеографии, палеоклиматологии и других наук, позволяющих реконструировать особенности среды обитания прошлых эпох, геохимических и энергетических функций живого вещества, структуры экосистем, специфические типы взаимодействия между факторами эволюции и т.д. Методология формационного анализа может служить базой для синтеза данных различных геологических и биологических наук, связанных с изучением эволюции биосферы.

Тема 6

ВЗАИМОСВЯЗЬ ИСТОРИИ ПРИРОДЫ И ИСТОРИИ

ОБЩЕСТВА

6.1. Воздействие древнего человека на экосистемы Земли

В. И. Вернадский считал человечество продолжателем дела всех живых организмов: задерживать и перерабатывать солнечную энергию, переводить ее в сложные формы. Такова, можно сказать, космическая функция человечества. Заключительный этап в истории биосферы - человечество стало решающим фактором преобразования природы. Сама идея о превращении человека в решающий фактор преобразования биосферы получила признание еще до Вернадского. Но он впервые показал закономерность этого процесса, связав его с предшествующей эволюцией биосферы, а усиление воздействия человека на природу - с техническим процессом.

Исследования антропологов показывают, что первые антропоиды (олигопитеки, проплиопитеки и эгиптопитеки) появились от 28-33 млн лет назад. Костные останки этих гоминид были найдены в олигоцене-миоцене Файюмского оазиса в Египте. Находки Луиса Лики в Олдо-вайском ущелье вблизи оз. Танганьики в восточной Африке позволяют оценить возраст наиболее древнего предка современного человека в 2 млн лет. К тому же времени относится начало изготовления примитивных каменных орудий. 700 тыс. лет назад, в эпоху крупного и длительного оледенения, охватившего южные районы умеренной зоны и даже некоторые районы субтропиков, появились древние настоящие люди - питекантропы Явы, Китая, Восточной и Северной Африки и юга Восточной Европы и Палестины. Последнее крупнейшее по площади оледенение, около 100-200 тыс. лет назад, ознаменовалось появлением примитивного разумного человека - неандертальца, а около 50-

В тыс. лет назад, в эпоху последнего оледенения, оформился, наконец, человек современного типа.

Около 200 тыс. лет назад человек начал использовать огонь, возникающий от молний, самовозгорания торфа и других причин, а около

В тысячелетий назад люди научились сами добывать огонь.

Анализ характера и масштабов воздействия человека на природу

в древнейшие времена осложнен из-за неточностей определения воз-раста произошедших явлений и недостатка информации. Чрезвычайно сложно выяснить причины изменений природной среды, разделяя их на естественные и антропогенные; разными причинами подчас вызы-ваются сходные перестройки экосистем.

Воздействие ранних цивилизаций на экосистемы Земли: избира-тельный характер уничтожения животных, пирогенное влияние, сведе-ние лесов.

Наиболее часто высказывается мнение о том, что человек с древ-них времен, когда он был еще собирателем и охотником, находился в более или менее органическом единстве с окружающей природой, поч-ти не влиял на ее жизнь и полностью зависел от нее. В последующем он все более выходил из-под этой власти, постоянно нарушая былую гармонию общества и природы.

Действительно, интенсивность преобразований природы челове-ком последовательно возрастала. Наряду с этим сокращалась длитель-ность этапов общественного и технического развития. Так, древний каменный век - ранний палеолит - длился сотни тысячелетий, поздний палеолит - несколько десятков тысячелетий, неолит - тысячелетия. Однако не следует забывать, что даже небольшие по силе воздействия, продолжающиеся длительное время, могут повлечь очень существен-ные последствия.

Один из самых ранних хозяйственных типов в истории человече-ства складывается из охоты на медведя и крупных копытных (лось, дикая лошадь, благородный олень, косуля, тур и др.), рыбной ловли, добычи водоплавающей птицы, сбора насекомых, съедобных моллю-сков, растительной пищи (ягод, плодов, семян, желудей, корневищ, лесных и водяных орехов и т.д.). Группы охотников-собира-телей вели полуседельный образ жизни. Раннеолитовые поселения, как и поздне-мезолитовые, имеют культурные слои малых мощностей и размеров (50-200 м²), свидетельствующие о недолговременном существовании и о немногочисленности их обитателей, ведущих подвижный образ жиз-ни. Анализ археологических материалов показывает, что численность групп охотников-собира-телей достигала 20-25 человек. Каждая группа занимала обширную площадь, размеры которой зависели в первую очередь от наличия объектов охоты и съедобных растений. Средний показатель плотности населения для охотников-собира-телей прини-мают за 0,05 чел./км². Общая численность населения Земли в мезолите (10 тыс. лет назад) была около 3,5 млн человек, а к концу мезолита (

тыс. лет назад) достигала, по мнению разных ученых, от 10 до 26,5 млн человек.

По некоторым данным, первобытный охотник тратил на добыва-ние пищи в среднем 2-4 часа в день. О духовной жизни и относитель-ном материальном благополучии его свидетельствуют великолепные наскальные рисунки, оставленные в разных районах мира. Районы с теплым и влажным климатом , богатые жизнью характеризовались большей плотностью обитания человека. На стоянках древних людей обнаружены каменные орудия труда, использующиеся для выполнения 30-40 функций, и кости животных. Проявлялась узкая специализация племен, охотившихся почти исключительно или на мамонтов, или на северных оленей, или на диких слонов, или на бизонов.

Универсальное оружие охоты - огонь использовался уже сто и более тысячелетий назад, что имело далеко идущие экологические по-следствия. Вполне приемлемой представляется гипотеза о том, что за вымирание некоторых видов фауны раннего плейстоцена, происходя-щее в результате разрушения среды обитания и источников питания, отвечает бесконтрольное использование огня, а не истребление чело-веком этих животных при помощи ручного оружия.

Первобытные общества охотников-собира-телей соответствовали экосистемам, в которых они жили и являлись их частью наподобие других всеядных животных. Главное экологическое различие между людьми и другими видами животных состояло в использовании огня. Этот источник энергии дополнял энергию, потребляемую через пищу

3.необходимую для поддержания обмена веществ. Рассчитали, что для существования одного человека в среднем палеолите требовалось око-ло $2,1 \cdot 10^4$ кДж (5 тыс. ккал) в сутки. Они складывались из $1,3 \cdot 10^4$ кДж (3 тыс. ккал), получаемых с питанием, и $0,8 \cdot 10^4$ кДж, что давал очаг, с помощью которого готовилась пища и обогревалось жилье. В нижнем палеолите, до того как человек стал использовать огонь и ко-гда

численность населения Земли не превышала 10-20 тыс. человек, годовое суммарное потребление энергии находилось в пределах $(4,6 \cdot 10^7) - (8,8 \cdot 10^7)$ кДж. В начале среднего палеолита численность жителей планеты достигла 200-300 тыс. и суммарное количество потребляемой всеми людьми энергии составляло $(1,6-2,3) \cdot 10^9$ кДж/год. В верхнем палеолите, когда на планете проживало около 1 млн человек, количество потребляемой энергии увеличилось до $9,2 \cdot 10^9$ кДж/год. Следовательно, уже в верхнем палеолите использование огня в хозяйственных целях и рост численности жителей привели к увеличению энергопотребления на планете по сравнению с начальным этапом становления человечества в 100 раз (по Б. Б. Прохорову). Подобный энер-

гетический баланс первобытного общества не мог нанести существенного удара среде, хотя локальные нарушения природных комплексов могли быть достаточно заметными. Использование огня приводило к лесным и степным пожарам. Отходы жизнедеятельности охотников-собирателей быстро утилизировались природой, так как они, во-первых, были невелики по объему, во-вторых, распределялись по большим территориям из-за кочевого или полукочевого образа жизни. Ориентировочные расчеты показывают, что общее годовое количество нечистот от группы в 20 человек, равное примерно 10 т, рассеивалось по территории площадью около 400 км^2 . Прочие отходы охотников составляли органические остатки пищи и одежды из шкур, а также каменные сколы, образующиеся при изготовлении каменных орудий. Иными словами, охотниками-собирателями в природную среду не приносилось ничего для нее чужеродного. Продолжительность их жизни составляла в среднем 26 лет.

Более достоверно можно судить о взаимодействии с природой людей среднего палеолита - неандертальцев. Неандертальцы обладали большой физической силой, их небольшие группы могли справляться с самыми крупными и свирепыми животными. Они господствовали на суше в суровую эпоху позднего оледенения. Появление ледниковых покровов в северном полушарии сопровождалось серьезным смещением природных зон, перестройкой экосистем. Неандертальцы были охотниками и собирателями. О собирательстве находок очень мало. Предположения об экологическом давлении приходится делать очень осторожно. Возможность такого давления определяется очень тонкой регуляцией природных экосистем. Происходит сопряженное изменение численности хищников и жертв, представителей разных трофических уровней питания. Появление таких крупных и умелых хищников, как неандерталец, должно было сказаться на численности и распространении целого ряда крупных млекопитающих. «Выедая один пищевой пласт», человек переключался на другой. Влияние человека - прямое (преимущественно охота) и косвенное (огонь) - сказывалось прежде всего в крупных речных долинах, на морских и озерных побережьях. Более или менее нетронутыми оставались Америка, Австралия, крупные и мелкие незаселенные острова.

Неандертальцу суждено было пережить мощную волну похолоданий, первую фазу валдайского оледенения. Затем последовало общее потепление климата - в промежутке между двумя стадиями похолодания. Неандертальцы сравнительно быстро исчезли, на смену пришли люди современного вида - кроманьонцы. Мягкий климат благоприятствовал их расселению. Эпоху кроманьонских охотников, собирателей,

рыболовов, еще не знавших металлов, называют поздним палеолитом (около 40 тысячелетий назад). Его формирование шло быстро - завершилось в течение нескольких тысячелетий, никаких других всепланетных природных явлений в этот период не отмечено.

3. эпоху кроманьонцев произошло небывалое в природе явление - распространение одного вида живых организмов практически на всей обитаемой суше, во всех зонах. Кроманьонцы заселили Америку, Австралию, проникли в Субарктику. Ни один вид не имел такого распространения, не говоря уж о способности влиять на несколько трофических уровней экосистем (хищные и травоядные животные).

Расселению человека способствовало оледенение: вода на суше в виде ледниковых покровов, уровень Мирового океана понизился на десятки метров. Британские, Японские, Зондские и другие острова были частью континентов. Северо-восточная Азия и Северо-западная Америка соединялись широким перешейком. Кроманьонцы по суше перешли в Америку. Для освоения Австралии и Океании они овладели навигацией. Для некоторых видов животных, некоторых экосистем это оказалось весьма существенным фактором. Наступает новый этап развития человечества и биосферы. Люди употребляют новые виды рыб и птиц в невиданной прежде степени. В мир пришла техника (выжигание угля, обжиг гончарных изделий, обработка каменных орудий, оружия, приспособлений из костей, рогов животных и т.д.)

Оценить масштабы влияния кроманьонцев на природу косвенно можно на территориях, заселенных лишь в позднем палеолите (Аме-рика, Австралия, острова).

За последние десятки миллионов лет в Новом Свете произошло, пожалуй, только одно крупное и катастрофически быстрое вымирание млекопитающих. Заключительная фаза последнего оледенения сопровождалась поначалу обогащением видового состава фауны. Несмотря на морозный климат и гигантские ледники, в Америку из Евразии пе-рекочевали несколько родов крупных млекопитающих (овцебык, сайга

к др.). Общее потепление климата и таяние ледников благоприятство-вали повышению продуктивности экосистем. Численность животных должна была возрасти. Но случилось нечто противоположное. За пе-риод 2 тыс. лет исчезает несколько десятков родов (30 видов) живот-ных, вскоре после прихода сюда человека. Влияние человека не косну-лось растений, беспозвоночных, морских позвоночных. Большинство видов исчезло внезапно между 11 тыс. и 8 тыс. лет, вымирание мамон-та в районе Скалистых гор и Высоких равнин произошло примерно 11 тыс. лет назад. Анализ пыльцы и спор растений показывает, что 10 тыс. лет назад растительность была сходна с современной. Никаких

климатических и геологических катастроф не было . Исчезли верблю-ды, лошади, ленивцы, мускусные быки, винторогие антилопы, отдель-ные виды кошек, оленей, два вида мамонтов - все это результат актив-ной охоты первобытного человека. Увеличение размера крупных жи-вотных, достигнутое в ходе эволюции, снизило в той или иной степени риск нападений хищников. С исключением этого важного фактора уменьшения численности вида сделало возможным и целесообразным заметное сокращение рождаемости. Когда человек верхнего палеолита начал охоту на этих животных, они стали вымирать вследствие низкой рождаемости. Животные Нового Света оказались беззащитными перед человеком, погибали от пожаров, из-за нарушения экологического равновесия (хищники при уничтожении травоядных). Исчезли либо самые «доступные» при охоте, либо самые ценные виды животных. Мелкие млекопитающие совсем не пострадали. Сохранились бизон и северный олень: подвижный бизон – за счет расширения человеком степей и лесостепей (огонь уменьшил площадь лесов), оленя хранил суровый климат. Примерно в то же время во многих других крупных регионах исчез целый ряд крупных млекопитающих ледникового пе-риода, до этого достаточно многочисленных. Благоприятные условия для охоты по сравнению со странами Европы и Азии, где дикие жи-вотные соприкасались с человеком на протяжении сотен тысяч лет и выработали различные способы защиты от преследований, определили быстрый прирост и заселение человеком всей Америки.

к научных трудах была обоснована и другая модель перестройки ландшафтных комплексов суши на рубеже плейстоцена и голоцена. На протяжении всего плейстоцена во всех климатических поясах расти-тельность никогда не имела столь резко выраженной зональной струк-туры, как в голоцене. Границы растительных зон были гораздо более размытыми, леса имели парковый облик и т.д. Во всех климатических зонах мозаичность фитоценозов была, по-видимому, выше, чем в го-лоцене. Некомпенсированному вымиранию крупных животных - фи-тофагов на рубеже плейстоцена и голоцена предшествовал период активного совершенствования охотничьих орудий. Увеличение числен-ности палеолитового населения, совершенствование орудий и техники специализированной охоты на крупных травоядных животных привели к тому, что численность их популяций стала снижаться на всех ма-териках 15-20 тыс. лет назад. К рубежу плейстоцена и голоцена чис-ленность «ключевых фитофагов», в том числе мамонтов, шерстистых носорогов, гигантских ленивцев Южной Америки и др., катастрофиче-ски снизилась. На большей части территории континентов они исчез-ли, а на остальной уже не могли исполнять роль эдификаторов расти-

тельных сообществ из -за низкой численности. В отсутствие «ключе-вых фитофагов» стали формироваться ценозы намного менее мозаич-ные. Возникла хорошо знакомая нам система ландшафтных фитоцено-зов с четко выраженной зональной структурой. Это привело к глубо-кой перестройке фаунистических комплексов, для многих представи-телей которых не оказалось места в новой структуре биоценозов. Часть животных, наиболее тесно связанных с мозаичностью ранее сущест-вующих биоценозов вымерли, другие сохранились лишь в той части своих прежних ареалов, где условия существования остались доста-точно приемлемыми для них.

Особенно глубокие изменения претерпели фаунистические ком-плексы тех зон, где этот процесс обострился из-за резких изменений климата. Единый плейстоценовый комплекс «мамонтовой фауны» Ев-

разии фактически перестал существовать. Отдельные его представители сохранились в разных климатических зонах - от арктических пустынь до пустынь Средней Азии и Монголии, но в настоящее время области их распространения не только не перекрываются, но и даже не контактируют друг с другом.

Гибель основных видов охотничьих животных и коренное изменение облика ландшафтов потребовали полной перестройки хозяйственно-охотничьего уклада. В мезолите основой существования стали относительно малоспециализированная охота практически на все виды доступных животных, рыболовство, собирательство.

Другую причину гибели крупных млекопитающих видят в резком контрастном изменении климата. Быстрая деградация вечной мерзлоты, смена экологических условий - и животные не смогли приспособиться. Однако даже в этом случае участие человека в гибели млекопитающих не вызывает сомнений.

Влияние человека каменного века можно наглядно проследить на изменении природы Тасмании и Австралии. По археологическим находкам территория острова Тасмания заселена около 30 тыс. лет назад при опускании уровня океана в эпоху оледенения. Тасманцы занимались охотой, рыболовством, собирательством. С помощью огня они перестраивали свои ландшафты, с целью увеличения площади открытых пространств и диких пастбищ. Влажные леса уступили место кустарникам, саваннам, степной и болотной растительности. Рост населения был ограничен экологической зависимостью в системе «хищник-жертва», постепенно появились признаки упадка материальной культуры.

в Австралии охотничьи племена постоянно кочевали. Каждая группа ежегодно выжигала около 100 км² лесов, саванн, степей - целе-

направленно или невольно. Тысячи таких групп могли за 30 тысячелетий десятки раз выжечь растительность всего континента. Создавались огромные пирогенные территории, что в долгосрочной перспективе вело к обеднению биоресурсов, опустыниванию. Процесс обострялся в периоды засух. Леса - хорошие стабилизаторы почвенной влаги, их уничтожение вызывало большую потерю воды, иссушение и эрозию почв. Разрежение растительного покрова сначала благоприятствовало увеличению численности крупных животных. Однако через века и тысячелетия, когда земли эродировали, для людей наступили трудные времена. В истории аборигенов после подъема материальной культуры наметился явный регресс, приблизительно тогда, когда были уничтожены крупные сумчатые континента.

Считают, что окончание культуры палеолита в Европе, возможно, было, в известной степени, результатом неразрешимого противоречия между созданной человеком верхнего палеолита техникой массовой охоты на крупных животных, обеспечившей временное изобилие пищи и сделавшей возможным увеличение численности населения, и ограниченностью природных ресурсов для этой охоты, которые через некоторый период времени оказались исчерпанными. Причины этих экологических нарушений заключаются в необычайно высокой скорости эволюции человека по сравнению со скоростью эволюции преследуемых им животных. Переход к мезолиту имел болезненный характер для первобытного общества и сопровождался временным сокращением численности населения. Такое заключение согласуется с результатами ряда археологических исследований.

Средиземноморье было очагом формирования кроманьонцев и длительного хозяйствования первобытных охотников и собирателей. 10-20 тысячелетий назад Средиземноморье было покрыто почти сплошными густыми лесами. В пору мезолита началось активное уничтожение лесов - не столько вырубками, сколько преднамеренными и непреднамеренными пожарами. Расчлененный рельеф территории способствовал эрозии почв, появляются деградированные ландшафты. Нарушается водный режим территории: разливы рек и наводнения после дождей сменяются безводием сухих русел и недостатком воды в засухи.

в Африке на территории пустынь, полупустынь и сухих степей когда-то жили люди. Остатки животных и растений, русла водоемов свидетельствуют о том, что земли не испытывали острого дефицита воды. Считается, что под действием ледников средиземноморская растительность была оттеснена на юг - в Сахару. Озеро Чад занимало площадь в 8 раз больше современной. Со времени кроманьонцев в Аф-

рике не было экологических ниш, не занятых человеком (кроме, может быть, глубинных районов влажных лесов). Учитывая активность чело-века, вряд ли можно сомневаться в серьезных изменениях экосистем. Наибольший урон приносили пожары. Разрушился почвенный покров, понизился уровень грунтовых вод, пришли в движение пески. Пиро-генное воздействие, конечно, вызывало необратимые изменения неустойчивых лесных экосистем в условиях субаридных климатов.

Колебания численности хищников и жертв - известная экологи-ческая модель. В этом отношении человек оказался особым компонен-том экосистем. Уничтожая крупных млекопитающих, он избегал вымирания, ему не нужно было изменяться биологически, приспособли-ваясь к новому «пищевому пласту», достаточно было выработать соот-ветствующую технологию. Он переключался на добычу мелких и юр-ких зверей, птиц, рыб, собирал растения. Однако постепенно создают-ся предпосылки для кризиса охотничьего хозяйства, присваивающего ресурсы без возобновления.

6.2. Экологические последствия древнего земледелия и скотоводства

На отдельных территориях преодоление возникших трудностей привело к принципиально новому типу хозяйства, открытию новых возможностей использования природных богатств путем их восполне-ния. От присваивающего хозяйственного уклада люди перешли к вос-производящему, возникли земледелие и скотоводство . Археологиче-ские находки показали, что первоначально земледелие возникло в Се-верной Африке, Сирии, Иране, Средней Азии. Отсюда оно стало рас-пространяться в Европу.

Считается, что переход к земледелию обеспечивал более надеж-ные источники пищи, что вело к увеличению численности населения. Сравнение племен охотников-собира-телей и примитивных земледель-цев не показало существенных различий в рождаемости, плотности населения, продолжительности жизни (у земледельцев даже массовое распространение заболеваний). Переход к возделыванию более уро-жайных, но менее питательных растений отрицательно влиял на каче-ство пищи.

Переход к земледелию и скотоводству был постепенный, он по-зволял получать путем воспроизводства скудеющие биоресурсы сре-ды. Чем выше был удельный вес земледелия и скотоводства, тем более оседлым становился человек. Природа для него разделилась на свое,

требующее заботы , и не свое, чужое. Выделялись хищные животные, опасные для скота, и сорняки, вредители полей.

Зарождение земледелия на Ближнем Востоке и в Центральной Америке относят к началу послеледниковья. Переход длился 3-4 тыся-челетия. В эпоху неолита, когда основой хозяйственной деятельности стали скотоводство и земледелие, выжигание растительного покрова приобрело громадные масштабы. Оно применялось с целью расшире-ния пастбищ за счет лесных участков и в особенности для развития подсечно-огневого земледелия, основанного на вырубке участков леса

и сжигании срубленных деревьев, после чего удобренная золой почва давала обильные урожаи даже при очень неглубокой ее обработке. Плодородие почвы при этой системе земледелия быстро убывало, по-этому через несколько лет (иногда всего через 1-2 года) приходилось вырубать новые участки леса под поля. Такой метод в недалеком прошлом был распространен во многих странах средних широт и ис-пользуется даже сейчас в некоторых государствах тропиков. Из-за не-обходимости каждые несколько лет оставлять истощенные поля и пе-реходить на другие участки плотность населения не могла быть высо-кой. В жарких же районах с орошаемым земледелием, где в качестве удобрений использовались экскременты людей и животных, или на землях, где ежегодные паводки оставляли плодородный ил (долины рек Нила, Ганга, Тигра, Евфрата и др.) общины были весьма много-численны. Например, В Южной Туркмении, на территории джейтун-ской культуры, в VI тысячелетии до н. э., сразу после завершения не-олитической революции, жило 3 тыс. человек; в IV тысячелетии, в эпоху раннего энеолита, на той же территории - 12-14 тыс. человек. В плодородных районах плотность населения достигала 500 чел./км². Продолжительность неолита может быть оценена в 5 тыс . лет. Можно сказать, что за этот период численность возросла с 10 до 50 млн чело-век, т. е. в 5 раз за 5 тыс. лет, или примерно на 40% за каждое тысяче-летие.

Мотыжные земледельцы, ведущие хозяйство в тропиках и отчасти субтропиках Азии, Африки и Америки, возделывали ямс, старо, маниок, батат, картофель, частично суходольный рис, саговые и другие виды пальм, бананы, сахарный тростник. Мотыжные земледельцы степей и сухих предгорий - пшеницу, кукурузу, просо, бахчевые. Для лесной зоны характерно подсечно-огневое земледелие с возделыванием ячменя, овса, ржи. В центральной Азии, соседних с ней горных областях и в горных районах Европы и Америки жители выращивали засухоустойчивые сорта овса, ячменя, гречиху, коноплю, сурепку, частично рис.

Широкая практика выжигания растительности на значительной территории суши привела к заметным изменениям природных условий, включая флору, фауну, почвы и, в меньшей степени, также климат

ее гидрологический режим. Так как систематическое выжигание растительности как в средних широтах, так и в тропиках было начато давно, трудно оценить весь объем вызванных таким путем изменений среды, окружающей человека.

Наряду с подсечным земледелием в ряде областей леса были уничтожены для использования древесины. Большое влияние на естественный растительный покров оказывал выпас сельскохозяйственных животных, который производился без учета возможностей восстановления растительного покрова. Во-первых, являясь конкурентами диких животных, они вытесняли их с пастбищ. Во-вторых, в целях охраны группы животных скапливали в пределах ограниченных участков, которые было удобно охранять, что приводило к уничтожению травянистого покрова. В ксерофитных лесах козы и другие животные поедали листву молодых деревьев, что также привело к уничтожению лесов. Чрезмерный выпас скота повлек за собой исчезновение растительности степей и саванн, которые зачастую приобрели черты полупустынь

ее пустынь. На Британских островах в результате хозяйствования образовались вересковые пустоши и болота.

На территории бывшего СССР первые очаги производящего хозяйства появились уже в конце мезолита в Молдавии и Средней Азии. Но только с конца неолита производящее хозяйство быстро распространилось в степных районах: между Дунаем и Днепром и в предгорных районах Средней Азии быстрее развивалось земледелие, а восточнее и севернее - животноводство. Радикальная перестройка структуры экосистем лесной полосы европейской части России началась при подсечном земледелии. Ко времени появления двупольной и трехпольной систем земледелия, пришедших на смену подсеке, значительная часть лесов европейской части России была выжжена уже многократно. Переход к двуполью и трехполью в большей степени был обусловлен острой нехваткой пространства для подсеки.

Прежде человек базировался на нескольких «пищевых пластах» экологической пирамиды. Теперь он принял на себя заботу о сохранении целых экологических систем - агроэкосистем. При ведении производящего хозяйства человеку требовалось прежде всего повышение продуктивности культивируемых животных и растений. Искусственный отбор шел направленно (дикая свинья может теоретически заселить земную поверхность за 20,6 тыс. суток, а домашняя - за 2,8 тыс.; скорость увеличения прироста биомассы - в 7 раз). Преимущества тех-

ногенных сортов и пород могут реализоваться только в искусственных экосистемах, целенаправленно поддерживаемых в устойчивом состоянии. Стимуляция биоактивности идет за счет активизации кругооборота химических элементов. Суммарная продуктивность естественных экосистем выше, чем искусственных, за счет разнообразия видов (даже сегодня продуктивность сельхозугодий в среднем - 6 т, лесов - 7 т на га; продуктивность диких животных саванн в расчете на га выше, чем домашних животных в этой же зоне), хотя затраты средств и энергии на искусственные экосистемы огромны.

Агроэкосистема при этом чрезвычайно неустойчива, в примитивном земледелии истощает почву, развивается эрозия. Поэтому участки земли быстро приходили в негодность и забрасывались (часто необратимо из-за разрушения почвы). Так производящее хозяйство вело к глубоким негативным изменениям в окружающей природе. Заботясь только о биомассе агроэкосистем, человек невольно наносит урон всей природной среде в целом, он оказывает серьезное воздействие на почвы, грунтовые и поверхностные воды, активизируя эрозию, заболачивание, опустынивание.

Энерговооруженность ранних земледельцев была невелика: 12 -15 тыс. кДж член земледельческой общины получал с пищей, около 16 тыс. кДж давало тепло домашнего очага, столько же приходилось на тяговую силу. Энергопотребление неолитического земледельца в 2 раза превышало объем потребления энергии мезолитическим охотни-ком. Общее потребление энергии населением Земли в конце неолита составило $2,5 \cdot 10^{12}$ кДж/сут. или $9 \cdot 10^{14}$ кДж/год (по Б. Б. Прохорову).

о связи с оседлым образом жизни возникают новые искусствен-ные ландшафты - зародыши селитебных. На юге Средней Азии в эпоху энеолита существовали крупные поселения численностью 1-2 тыс. че-ловек.

6.3. Антропогенная эволюция экосистем

Древние очаги земледелия приурочены к современной засушли-вой области обедненных, опустыненных ландшафтов. Первоначаль-ными районами освоения были предгорья и низкогорья. Здесь благо-приятные для земледелия участки сравнительно невелики. Сведение леса человеком разрушало почвенный покров, резко усиливало сток поверхностных вод, возникали катастрофические паводки, отрица-тельно влияющие на растительность и животный мир речных долин и озерных впадин и на жизнь обитающих здесь племен земледельцев.

Уменьшение грунтового стока обедняло и природные экосистемы. По-степенно изменялся и микроклимат в сторону усиления контрастности температур и степени увлажненности. Измененные и деградированные территории увеличивались по площади. Все это происходило на фоне обычных климатических колебаний, не обязательно направленных на опустынивание.

средиземноморье активные формы современного карста, как правило, вторичны. Они развиваются на более крупных формах древ-него карстового рельефа. Этот древний рельеф был переработан в вил-лафранке (самом конце плейстоцена) при более влажном климате. Позднее процессы карстообразования постепенно затухали, происхо-дило «одряхление» карста. Многие большие поля были заполнены аллювиальными отложениями. Здесь выросли леса и сформировалась поверхностная гидросеть. В течение тысячелетий человек сводил леса. Перевыпас и земледелие привели к деградации почвенного покрова, который удерживал атмосферную влагу. Обнажились коренные известняки. Водотоки ушли под землю, в лабиринты древней карстовой гидрографии. На больших площадях образовались «самые карстовые» ландшафты на земном шаре - известковые пустыни.

эпоху неолита (средний каменный век) человек впервые высту-пил как активная геологическая сила. Это выразилось в интенсивности а разнообразии форм воздействия на среду: скотоводство, земледелие, строительство крупных поселений, активное уничтожение лесных массивов, строительство ирригационных систем, шахт. Повышение благосостояния вызвало рост численности населения планеты до не-скольких десятков миллионов человек, что еще усилило масштабы воздействия на природу. Как творец «второй природы» человек оказы-вается в центре мироздания. Создание искусственных ландшафтов, разрешение противоречий с природой вели к появлению математики, письменности, к выделению различных социальных групп. Чем со-вершеннее становились окультуренные растения, животные, экосисте-мы, тем больше отчуждались от естественной среды, требуя для своей устойчивости и совершенствования знаний, затрат энергии.

Генеральное наступление земледелия из эродированных предгор-ных районов шло в направлении низменностей, долин крупных рек. Первоначально были освоены Месопотамия, Двуречье, затем долины Нила, Инда, бассейн Хуанхэ, междуречье Амударьи и Сырдарьи.

Сначала потребность растущего населения удовлетворялась ос-воением целинных территорий. Позднее появились ирригационные системы, системы защиты от наводнений. Для расширения территорий полей и пастбищ успешно применялся огонь, уничтоживший леса в

полуаридных условиях. Сведение леса в верховьях рек делает паводки более контрастными, проходят чаще селевые потоки, разрушаются почвы, заиливаются русла - усиливается опасность наводнений.

Внедрение индустрии меди сказалось на состоянии окружающей среды, так как для выплавки использовалась древесина, что ускорило деградацию лесных массивов.

В отношении численности населения на заре аграрной культуры оценки демографов расходятся. По разным расчетам по сравнению с неолитом численность возросла в несколько раз (ко 2-му тысячелетию до н.э. - 50-133 млн человек). С середины 4-го тысячелетия до н.э. на Ближнем Востоке и в Египте города и поселения стали объединяться и формировать государства, которые превращались в рабовладельческие империи. При изучении проблемы численности населения ученые пришли к выводу, что в эпоху аграрной культуры колебания в численности людей тесно связаны с изменением количества пищи и что на протяжении истории землевладельческих обществ наблюдались резкие пики смертности - до 150-300 и даже 500 на 1000 человек. Иногда они приходились на периоды войн, но чаще были результатом голода и эпидемий.

Энергопотребление на душу населения в античном мире лишь немного превысило уровень эпохи неолита, увеличившись с $4,6 \cdot 10^4$ до $5 \cdot 10^4$ кДж/сут. Казалось бы, что такой небольшой прирост энергопотребления не в состоянии значительно изменить общественное производство и обеспечить энергетический базис роста численности населения. На самом же деле античные науки и культура достигли небывалого расцвета. Крайне низкий уровень потребления энергии был у рабов. Они сами стали поставщиками мускульной энергии наряду с до-машными животными. Прimitивное производство концентрировалось

и отдельных локусах, там и росла удельная плотность энергопотребления. На этих участках удельное энергопотребление достигало $2,1 \cdot 10^{10}$ кДж/км² в год (по Б. Б. Прохорову).

Саморазрушение цивилизаций (Баландин, Бондарев, 1988). Первая цивилизация на Индийском субконтиненте возникла в

пустынных районах Инда 3 тыс. лет назад, в те давние времена долина была цветущим краем. Здесь древние земледельцы вырубали леса, выжгли кустарники. В результате истощенные почвы подвергались эрозии, орошаемые земли засолились.

Обширная зона полупустынь и пустынь Средней Азии также была колыбелью древних цивилизаций. Подсчитали, что площадь орошаемых земель Амударьи и Сырдарьи составляла 8-10 млн га. Упадок культур связывали с ухудшением климата. Однако очевидных клима-

тических катастроф не удалось выявить, основная причина запустения - социально-историческая. Первоначально менялся не климат, а экосистема. Истощались и засолялись почвы, не обрабатывались земли и надвигались пески.

древнем Иране кризисная экологическая ситуация сложилась, по-видимому, около 3 тыс. лет назад, в начале второго тысячелетия цветущий край пришел в упадок.

зоне пониженного естественного увлажнения процветание племен земледельцев и скотоводов, освоивших ирригацию, не может продолжаться сколь угодно долго. Человек обособляет участки, обогащенные поверхностными или грунтовыми водами, эксплуатирует их и помощью запруд, каналов, колодцев и др. Одновременно водой обедняются соседние территории (уменьшаются водотоки, снижается уровень грунтовых вод). Вырубка лесов и кустарников довершает процесс опустынивания. На карте Древней Аравии многие города и торго-вые пути приурочены к зоне современных пустынь. В результате избыточной нагрузки от выпаса скота формируются открытые пески.

Цивилизация древних майя в Новом Свете также вступила в конфликт со средой. Майя применяли смешанные посевы, не требующие частой смены участков; на болотистых участках устраивались приподнятые поля, требовалась тончайшая регуляция поступления воды. Земли были истощены в результате интенсивной эксплуатации. Величественная империя пришла в упадок, были покинуты города и селения. Конечно, в упадке цивилизаций немалую роль сыграли военные конфликты, завоевание варварами, не владеющими достаточными знаниями. Но все это показывает неустойчивость первичных агроэкосистем, большую зависимость как от стихийных явлений, так и от деятельности человека.

Освоение новых методов природопользования ведет к эффективности хозяйствования, увеличению населения, а затем неизбежно наступает полоса экологических кризисов. Были частично опустынены земли древних цивилизаций в Палестине и Финикии, в обширной Малой Азии. Малая Азия была когда-то богата лесами, козы и люди погубили леса, земля превратилась в сухую степь. В Средиземноморье при очень высокой плотности населения потребность в древесине была столь велика, что естественный прирост вечнозеленых дубовых лесов не покрывал потери, возобновление не происходило из-за выпаса скота. Земли превратились в каменистую пустыню, особенно там, где были известняки, подверженные карсту.

Александр Македонский с войском прошел много тысяч кило-метров по территории современных полупустынь и пустынь. В наше

время повторить этот маршрут вряд ли возможно. Есть археологические доказательства того, что эти пространства были густо заселены и армии во время длиннейших переходов могли прокормиться.

Разрушения от природных стихий обычно не вызывают гибели цивилизаций, существуют же в течение десятков столетий города и поселения в зонах землетрясений и вулканической деятельности. Пепел даже способствует плодородию полей.

Влияние экологических кризисов на развитие человеческого общества было двусторонним, Наряду с ущербом, который они наносили традиционной хозяйственной деятельности человека, создавались и стимулы для развития новых путей обеспечения экономических интересов общества. Так, значительное ухудшение условий земледелия в ряде средиземноморских стран античного времени повлекло развитие мореплавания, ремесла и других видов несельскохозяйственного производства.

Римскую империю можно назвать первым обществом потребления, твердо проводившим политику покорения природы: вырубка и выкорчевка лесов, осушение и орошение земель, строительство дорог, мостов, водопроводов, дворцов, храмов, терм, коллизеев, добыча руд и строительных материалов. За 1-2 дня цирковых празднеств убивали тысячи диких животных (до 600 львов на арене одновременно). В то же время высокой была культура земледелия: удобрения, севообороты, кормовые травы, птицеводство, восстановление плодородия почв несомненно поддерживали длительное существование Римской империи.

К средневековью из опустошаемых человеком субтропической и тропической зон очаги цивилизации переместились в среднюю полосу Европы и даже в ее северные районы. Здесь началось наступление на лес. В раннем средневековье на территории Европы преобладали обширные лесные массивы и болота. Селения и города располагались по речным долинам. Шло постепенное совершенствование агрокультуры, развитие ирригации и осушения. За 9 столетий средневековья площадь лесов сократилась в 3-4 раза. Почти исчез строевой мачтовый лес, дубово-буковые леса уступили место хвойным и березовым. Уничтожение лесов было ускорено растущими потребностями в стройматериалах, топливе, древесном угле, дубильных веществах. Оказались на грани исчезновения туры, зубры, благородные олени, лоси, медведи. За три-четыре столетия численность жителей Западной Европы выросла в 2-2,5 раза за счет освоения новых территорий. Города стали привычной искусственной средой человека.

Почти полностью распаханы придунайские степи, венгерская пушта и ее правобережное продолжение в Югославии на равнинах

долгое время рассматривались как западный форпост южнорусских степей. Однако средние годовые температуры на среднем Дунае составляют около $+10^{\circ}\text{C}$, а осадков выпадает 500-750 мм в год. Эти условия никак не могут быть препятствием для произрастания лесов. Причина безлесья Среднедунайской равнины - деятельность человека. Еще в 3-м тысячелетии до н. э. эта территория начала осваиваться для земледелия (дунайская культура), и с тех пор лес испытывал постоянное давление со стороны человека. С востока вместе с кочевниками пришли степные флористические элементы, прижившиеся на новом месте, а кое-где появились массивы сыпучих песков.

Шотландцы, поселившиеся в центральной части провинции Отаго, занялись разведением овец. Из-за удаленности заморских рынков животных не забивали на мясо, а держали ради шерсти. Поэтому их поголовье росло очень быстро: всего за 6 лет (с 1855 по 1861 г.) оно увеличилось почти в 12 раз и приблизилось к 700 тыс. голов. Нагрузка на пастбища оказалась явно превышенной. Частое выжигание кустарника, перевыпас и быстрое размножение кроликов привели к деградации ландшафта, развитию эрозии, падению содержания гумуса в почве, обеднению видового состава растительности. Уже с 1880-х годов численность поголовья скота стала уменьшаться, а пришедшие в негодность пастбища - забрасываться. Спустя еще 20 лет очевидцы стали писать о пустыне в центральной части Отаго.

период позднего Средневековья появились первые законодательные акты, направленные на охрану окружающей среды. В Англии

а в 17 веке был издан указ, запрещавший лондонцам разжигать огонь в каминах во время сессий парламента, чтобы защитить парламентариев от смога. Еще раньше во многих странах Европы была запрещена охота в лесах, принадлежащих монархам, крупным феодалам, монастырям. Именно этим законам человек обязан тому отрадному факту, что

в лесах Европы до сих пор сохранились многие виды диких животных. Последним этапом эпохи аграрной культуры на большей части планеты был феодализм. В IX веке население Земли - около 200 млн человек - жило в условиях застоя, разобщенности ввиду непрекращающихся войн, эпидемий и частых неурожаев. Период с X до середины XIII века отмечен мощным прогрессом численности человечества - она почти удвоилась. В конце XIII века успех человека как биологического вида вновь притормозился. Согласно демографическим данным в XIV веке во многих регионах настали трудные времена. В Китае за 100 лет с небольшим население сократилось более чем на 50 млн, в Индии и Европе численность жителей также значительно снизилась, и

в 1400 г. в мире жило меньше людей, чем в 1200 г. Причину этой по-

следней по времени паузы в росте численности населения Земли принято связывать с распространением чумы. Однако разгар эпидемий пришелся на 1345-1351 гг., и поэтому нельзя ограничиться лишь таким объяснением. В условиях аграрной культуры рост численности населения опережает рост сельскохозяйственного производства, кратковременный подъем которого может быть достигнут за счет чрезмерной эксплуатации сельскохозяйственных ресурсов. Но стабильный демографический рост сверхуровня, обеспечиваемого данной продуктивностью, т.е. относительная перенаселенность, ставит под угрозу все социальное развитие, ибо в этом случае самым страшным - даже не острый голод, а длительное существование на недостаточно питательном рационе. Слабое питание на протяжении нескольких поколений ведет

и катастрофическим последствиям: увеличивается вероятность эпидемий и смертности для значительной части населения. Вплоть до XV столетия человек жил на грани голода, лишь между 1400 и 1750 гг. человечество сумело увеличить производство продуктов питания и на этой основе добиться стабильного роста своей численности.

Эпоха феодализма характеризуется интенсивным использованием в производстве таких явлений природы, как ветер и текучая вода. В городах и сельской местности стали применять водяные и ветряные двигатели. Огромное значение в качестве тяговой силы приобрела лошадь. Все это увеличило количество энергии, потребляемое одним человеком эпохи феодализма, до $1,1 \cdot 10^5$ кДж/год. К середине средних веков все человечество потребляло энергии $6,3 \cdot 10^{15}$ кДж/год, а в позднее средневековье эта цифра увеличилась до $1,7 \cdot 10^{16}$ кДж/год (по Б. Б. Прохорову). Однако большая часть энергии, используемой всем обществом и овеществленной в виде денег, продуктов питания, изделий ремесленников, строительства жилых и производственных зданий и т.д., расходовалась на удовлетворение потребностей небольшого числа состоятельных людей.

Человечество живет и в исторически обозримое время будет жить в биосфере, ход процессов в которой радикально изменен нашими предками. Мы плохо себе представляем облик экосистем большей части Америки до начала колонизации европейцами, Сибири до начала и на ранних этапах русской колонизации и т.п. И хотя этот аспект проблемы исследован недостаточно, по-видимому, с большим основанием можно утверждать, что ход эволюции хозяйственной деятельности человека неоднократно модифицировался последствиями перестройки природных экогеосистем.

6.4. Человек - создатель особой экологической среды

По данным палеогеографии, на Земле за геологическую историю разнообразие ландшафтов возросло. С позднего палеолита человек стал активно воздействовать на некоторые компоненты: сначала на фауну крупных позвоночных и растительность, затем на почвы, природные воды, литосферу. Появились ландшафты, радикально измененные деятельностью человека: селитенные, сельскохозяйственные, горно-промышленные. Начали возникать техногенные опустыненные территории.

Современное мировое хозяйство прямо или косвенно вовлекало в свою сферу все экосистемы планеты. Даже биосферные заповедники сохраняются именно благодаря деятельности человека, охраняющего природу с неизбежными затратами на это мероприятие. Изменения ландшафтов настолько радикальны и постоянны, что кажутся человеку совершенно естественными. Под пашнями, плантациями, сеяными лугами, садами находится до 19 млн кв. км, под пастбищами и антропогенными лугами - 28 млн, что в общей сложности составляет около 32% площади всей суши. Добавим сюда территории, застроенные городами и поселками, транспортными магистралями и промышленными комплексами, занятые водохранилищами, лесопосадками, а также сильно измененные в результате техногенных пожаров, военных действий, загрязнения отходами, эрозии. По умеренным оценкам, человек радикально изменил и освоил 56% территории суши. Такие масштабы изменений должны заметно сказаться на климатических условиях, а оставшаяся часть относительно малоосвоенных ландшафтов должна в какой-то степени изменяться в результате этих техногенных климатических сдвигов. Измененные природные экосистемы достаточно быстро становятся устойчивыми и как бы вполне естественными.

Между сложностью биогеоценоза и его способностью противостоять антропогенному воздействию существует прямая связь. Английский эколог Ч. Элтон приводит интересные примеры подобной зависимости:

и Биоценоз тропического леса континентов очень устойчив как по отношению к вселенцам извне, так и в смысле постоянства численности отдельных видов. В тропических лесах не наблюдается вспышки численности отдельных видов. Размножение потенциальных вредителей сдерживается многочисленными хищниками, паразитами. Численность особей видов невелика.

Относительно устойчивы биоценозы лесов умеренных областей. Так, экосистема Уитхэм-Вудс в Англии «допустила» в свой состав всего трех или четырех вселенцев, включая каролинскую белку и европейский вид клена - явор.

Животный и растительный мир океанических островов более беден по сравнению с континентом. Флора и фауна океанических островов, при условии свободного обмена организмами, не в состоянии длительно сохранять свой облик, на что в свое время указывал Дарвин.

О Новой Зеландии, например, за сравнительно короткий срок натурализовался 61 вид млекопитающих и птиц. Из этого числа почти 52 % - переселенцы из Англии, 41 % - из Австралии, Азии и Америки и немногим более 6 % - из Европы и Полинезии. Эти цифры показывают, что основной фактор вселения - интенсивность связей Новой Зеландии с различными частями земного шара. Будучи в течение длительного времени колонией Англии, Новая Зеландия получила из этой страны и наибольший процент вселенцев. Это указывает на относительную слабость биотических отношений в экосистеме Новой Зеландии.

Еще более упрощен биоценоз фруктовых садов. Элтон приводит примеры и высказывания выдающихся специалистов, из которых становится очевидной относительно малая устойчивость этих биоценозов к нашествию вредителей и появлению грибковых заболеваний. В такого рода сообществах время от времени наблюдаются «волны» размножения отдельных групп вредителей, приносящих огромные убытки.

Наконец, наиболее подвержены воздействию вредителей такие биоценозы, как поля, засеянные культурными растениями. Только интенсивная борьба, которую постоянно ведет человек с сорняками, вредными насекомыми, грибковыми и бактериальными заболеваниями, позволяет снимать высокий урожай. Без помощи человека упрощенные биоценозы полей, огородов, садов не могли бы существовать продолжительное время.

Жизнеспособные экосистемы обычно более уверенно справляются и с различным химическим загрязнением по сравнению с системами обедненными.

Человек окружает себя прекрасными искусственными ландшафтами (сельскохозяйственными и городскими), но и они произведены на основе природной среды для блага всего одного биологического вида - человека при значительных затратах энергии, которая черпается из природных кладовых. И по законам термодинамики, и по фактам разрушающая деятельность человека превосходит созидательную.

Техногенные индустриально-городские системы являются гетеротрофными и могут существовать в современную эпоху только при использовании энергии и биомассы, накапливаемой автотрофными системами биосферы. Именно поэтому техногенные системы разрушают биосферные автотрофные

экосистемы, замещая их в пространст-ве. Агроэкосистемы в значительной степени подобны природным экосистемам, но они утратили свойство саморегуляции.

Демография и природные ресурсы . Степень воздействия на эко-системы усиливалась в связи не только с техническим прогрессом, но

у с быстрым ростом численности человека как биовида. После выде-ления человека из животного мира его численность долгое время вряд ли превышала несколько миллионов человек. С развитием земледелия у скотоводства постепенно население Земли стало увеличиваться. В начале нашей эры жило примерно 300 млн человек. После демографи-ческого кризиса позднего Средневековья в Европе начался неуклон-ный убыстряющийся рост численности людей, которая к началу XVII века удвоилась. В прошлом веке процесс ускорился по существу во всем мире. Уже к 1830 г. на Земле проживал 1 млрд человек. Спустя 70 лет, к 1900 г., население нашей планеты увеличилось в 1,7 раза, даже мировые войны не сказались заметно на демографических кривых, продолжается рост, увеличивается общая продолжительность жизни. В 1960 г. численность людей уже превысила 3 млрд человек. В настоя-щее время она приближается к 6 млрд человек. Каждые три года по численности людей появляется такая страна, как США.

Социализированный, вооруженный техникой человек находится почти вне действия естественного отбора. Но все равно продолжает действовать фактор ограничения природных ресурсов. Улучшение качества жизни людей компенсируется ухудшением состояния окру-жающей среды. За увеличение количества продуктов расплачиваемся ухудшением химического состава (ядохимикаты в продуктах и молоке

у др.), гибелью животных. Отказ от средств химизации неизбежно влечет снижение урожая, голод, эпидемии. Американский эколог Коммонер пишет: «Появляется новое поколение - с ДДТ и углекисло-той в тканях организма и свинцом в костях. Это техногенный чело-век». Быстрое увеличение численности населения вынуждает ускорен-но вовлекать в сельскохозяйственный оборот малопригодные земли (осушение болот, вырубка лесов, распашка склонов), недостаточная научная обоснованность проектов ведет к эрозии почв, опусканию грунтовых вод, опустыниванию. Так, распашка в предгорьях Гималаев вызвала не только эрозию почв, но и ускорила паводки, а маловодья в летний период снизили плодородие обширных территорий Индостана.

К арабских странах рост численности населения приводит к переэкс-плуатации пастбищ, в Северной Африке пустыня поглощает ежегодно 100 тыс. га земли (за 20 лет граница передвинулась на 90 км).

Благодаря техногенезу уже достигнуты на Земле звездные темпе-ратуры и межзвездный вакуум. Радиоволновое излучение Земли стало сравнимо с излучением спокойного Солнца. Открыта сверхпроводимость в широком диапазоне температур. В биосфере идут космохими-ческие реакции, синтез новых химических элементов и изотопов, в том числе, радиоактивных. Научная мысль как планетарное явление, о чем говорил В.И. Вернадский, становится космическим явлением.

6.5. Особенности эволюции живого вещества в современной биосфере

Современное состояние живого вещества в биосфере. Живое ве-щество автотрофного типа (высшие растения, водоросли, ряд видов бактерий) является единственным аппаратом фотосинтетической аккумуляции солнечной энергии на планете, следовательно, ведущим фактором функционирования биосферы. Вместе с тем живое вещество является, прямо или косвенно , объектом хозяйственной деятельности человека (сельское хозяйство, продовольствие, лес и топливо , строй-материалы, сырье для ремесел и промышленности) и объектом послед-ствий антропогенной нагрузки и техногенного воздействия. Запасы живого вещества в биосфере иллюстрируют данные В. А. Успенского (1956) о биомассе растений (т/год):

Углерод суммарной биомассы

древесной растительности $5,17 \cdot 10^{11}$

Углерод растительного опада лесов $1,6 \cdot 10^{10}$

Углерод всей травянистой биомассы и сельскохозяйственных растений	$1,65 \cdot 10^{10}$
Углерод годовой продукции травянистой растительности	$8,7 \cdot 10^9$

Живое вещество планеты и его формы: биомасса, экосистемы, разнообразие и численность видов, генетический фонд наследственно-сти - страдают от ошибочных действий человека, от нарушений в эко-

логической среде. Учащаются случаи полного исчезновения отдельных видов растений и животных. Природные экосистемы почти повсеместно испытывают влияние человека и его деятельности, замещаются агроэкосистемами или полностью исчезают, вытесняясь индустриальными, городскими системами. Происходит тревожный общепланетарный процесс нарушения функций и разрушения живого вещества

В главного механизма биосферы и условия существования и развития человечества.

По мнению ученых разных стран, наибольший потенциальный вред биосфере наносит неукротимое, хищническое уничтожение лесов. Ежегодно они вырубаются на площади от 7 до 20 млн га. Эта площадь превышает площадь Англии. По данным ЮНЕСКО тропические леса уже вырублены на 50% площади, леса умеренного и холодного поясов также сократились по крайней мере на 30-40% от начальной площади. Особенно интенсивно вырубятся леса влажных тропиков и субтропиков бассейна Амазонки, в Экваториальной Африке, Южной и Юго-Восточной Азии, странах Океании. Послесельные территории зарастают вторичными лесами, большая часть отводится под примитивные пастбища, некоторая часть используется в земледелии, обеслесенные тропические почвы быстро утрачивают плодородие, в большинстве эродированы. Нарушение теплового, водного и углеродно-кислородного режима, вызванное уничтожением лесов, может отрицательно сказаться на всей планете: вымрут многие виды растений, высших животных, насекомых, микроорганизмов.

Лиственные леса паркового, байрачного, долинного типов были в прошлом в черноземной зоне. Теперь они практически полностью уничтожены, что усилило эрозию почв. Уничтожены ксерофитные леса Средиземноморья, вырублены на топливо кустарники песчаных равнин Средней Азии и Северной Африки, муссонных регионов Юго-Восточной Азии. Сократились или исчезли лесные покровы Скалистых гор, Анд, гор Кавказа, Крыма, Балкан, Тянь-Шаня, Атласа, Загроса. Все это вызвало интенсивную эрозию и дефляцию почв, оползни, селевые потоки, грозные наводнения. Засухи отмечаются даже в таких странах, как Индонезия, Бразилия, Англия, Швеция, где их раньше не было. Уничтожение лесов вызывает цепную реакцию отрицательных последствий в биосфере.

Лесная растительность была преобладающей частью биомассы биосферы, поэтому можно считать, что уменьшение активной фитомассы на планете составляет 30-40 % (Ковда, 1985). Вероятное снижение интенсивности и суммарной продуктивности фотосинтеза, а также

уровня продукции кислорода, вероятно, значительно меньше - лишь 10-15 %.

Выжигание лесов и кустарников вызвало интенсивный рост трав на послесельных территориях. Но даже в самых пышных луговых степях биомасса живого вещества в 10 - 15 раз меньше запаса биомассы лесов. Под покровом трав ослаблен промывной режим почв, формируется менее кислая среда. Обилие корневой массы травянистых растений обуславливает высокую гумусность и накопление органического детрита, обеспечивает эти почвы высоким содержанием биофильных элементов и потенциально активной энергии. Однако в земледелии в результате перевыпаса, эрозии, выжигания трав и пожнивной стерни, окисления гумуса общая биомасса травянистых территорий и запасы гумуса за минувшие 100-150 лет сократились на 30-50 %. Биомасса культурных растений составляет примерно 10 млрд т ежегодно и далеко не

компенсирует потерь живого вещества, вызванных вырубкой лесов, распашкой, выжиганием и деградацией травянистых экосистем.

В биосфере сокращается вес, численность, количество видов и функций животных. В живом весе зоомасса холодных и таежных эко-систем составляет 100-350 кг/га, в лесах разного типа - 1000-1500-2500 кг/га. В условиях влажных тропических лугов и лесов численность низших организмов достигает 50-70-125 млн на 1 м², количество ви-дов - многих тысяч, суммарный запас одних беспозвоночных (главным образом червей) - 125-150 т/га. Известно, что окультуренные почвы всегда богаты дождевыми червями. Эродированные почвы бедны и фауной.

Общая суммарная величина животной массы составляет около 1-0,5 % фитомассы. Роль зоомассы незаменима, так как это обязательное звено в минерализации органики, замыкании биогеохимических циклов и в воспроизводстве условий плодородия почв. Отчуждение отходов животноводства, исключение или недооценка необходимости использования местных органических удобрений (навоза, компоста, отходов) нарушают законы экологии и почвообразования, ведут к истощению почв и падению продуктивности. Тяжелые машины, уплотняющие почвы, отчуждение органических веществ, монокультура вызывают снижение запасов живого вещества и гумуса и ведут к обеднению полевых, пастбищных экосистем и к их стерилизации. При этом сокращается и население почвенных микроорганизмов.

Неповторимо меняются и исчезают даже почвы, при этом нарушаются исторически сложившиеся пищевые цепи и пути передачи энергии. В основу рационального природопользования должны быть положены следующие принципы, сформулированные на основе анали-

за природы и функций живого вещества в биосфере и почвах (Ковда, 1985):

- Экологическое соответствие растений и животных условиям региона, прежде всего почвенным и климатическим.
- Максимально возможное увеличение на пастбищах и полях севооборота растений, экологически дополняющих друг друга (например, бобовые и злаки) и оставляющих органическое вещество в почвах.
- Расширенное воспроизводство почвенного плодородия за счет внесения в почвы агроэкосистем всех отходов органических веществ, местных органических удобрений (компосты, навоз, сапрпель, торф и др.) и необходимого по урожаю количества минеральных удобрений.
- Поддержание значительных запасов органических веществ и высокой биологической активности почв для образования углекислоты, повышения эффективности фотосинтеза и биофиксации азота.
- Предотвращение эрозии почв, их засоления, переуплотнения, химического отравления, т.е. процессов, стерилизующих почвы.

Эволюция живого вещества . Среди авторов работ, посвященных проблеме эволюции биосферы в современных условиях, очень мало биологов - эволюционистов. Их внимание чаще обращено на эволюционные изменения конкретных видов или сообществ. Проблемы современной биосферы рассматриваются только в работах М. М. Камшилова, С. С. Шварца, А. В. Яблокова, З. И. Бермана, Ю. И. Полянского.

По Э. И. Колчинскому (1990), заключительные периоды в развитии биосферы связаны со становлением антропозойной эволюционно-биосферной формации, где человеческая деятельность постепенно стала ведущей преобразующей силой на планете. Нижнюю границу антропозою ученые определяют по-разному. Если в качестве критерия взять начало эволюции в условиях культуры, то граница совпадает с периодом неолитической революции (8-10 тыс. лет назад).

В ряде работ развиваются идеи конца эволюции живого, обоснованные тем, что крупнейшие изменения живых организмов осуществлялись на протяжении миллиардов, сотен миллионов лет, по мере приближения к современности все меньше становится масштаб новообразований. Считается, что виды стали неизменными и вновь могут возникнуть лишь расы и разновидности. Степень воздействия человека на живую природу чрезвычайно возросла, и эволюция как стихийный процесс практически прекратилась. Рост численности населения, развитие производительных сил, приручение животных и окультуривание растений, распашка, создание пастбищ, рубка лесов - все эти и дру-

гие воздействия человека на живую и неживую природу привели к тому, что биоэволюция как процесс природы закончилась. Человек стал единственным фактором преобразований органических форм.

В этой постановке отрицается возможность эволюционных изменений большинства организмов, вовлеченных в сельскохозяйственную деятельность человека.

Со времен неолитической революции в хозяйственную деятельность вовлечены десятки видов животных и сотни растений. Путем бессознательного и методического отбора удалось вывести громадное количество сортов культурных растений и пород домашних животных. Человек стал мощным фактором увеличения разнообразия органических форм.

Однако сегодня воздействие человека на эволюцию ограничено очень узким кругом видов. До недавнего времени это всего 30 видов животных и 250 видов растений из 1,5 млн видов растений и животных, существующих в биосфере. Почти все окультуривание прошло за несколько тысяч лет до нашей эры. Если допустить, что эволюция идет только при участии человека, то большинство форм жизни обречено на вымирание, будучи не в состоянии адаптироваться к среде, резко измененной человеком.

На первый взгляд это предположение подтверждается массовым вымиранием видов животных и растений. На Международной конференции ученых в Академии наук Швеции (1982 г.), посвященной вопросам развития биосферы, высказывалось опасение, что, включая низшие организмы, бактерии, грибы, потери видов к 2000 г. могут составить 1 млн. По данным Международного союза охраны природы около 25000 видов растений и более 1000 видов животных находятся под угрозой истребления и нуждаются в специальной охране и защите. По А. В. Яблокову, ежедневно исчезает один вид животных и еженедельно один вид растений. Только в Красную книгу СССР занесено 62 вида млекопитающих, 63 - птиц, 21 - рептилий, 8 - амфибий, 418 видов и подвидов растений и животных.

Вместе с тем органический мир не пассивно реагирует на воздействия человека. Эволюционная пластичность многих форм и в наши дни достаточно высока. Вопреки воле человека интенсивно формируются новые формы сорных растений, вредителей сельского хозяйства, возбудителей различных заболеваний. На урбанизированных территориях доминируют рудеральные растения и животные - комменсалы и паразиты человека. Идет интенсивный отбор на синантропизацию, т.е. на выработку свойств, позволяющих выжить и оставить потомство в среде, измененной человеком. Трудно представить конечный результат

этих эволюционных преобразований. Возможно, они приведут к созданию форм, с которыми человек уже не сможет справиться. И вряд ли эту эволюцию следует считать «находящейся под разумным контролем человека».

Среди разнообразных форм воздействия человека на окружающий мир (разрушение местообитаний животных и растений, вырубка лесов, распашка степей, осушение болот, создание искусственных водоемов, загрязнение атмосферы и гидросферы, горнодобывающие работы, урбанизация территорий, уменьшение и подрыв кормовой базы животных, чрезмерная добыча ценных видов) практически нет таких, которые можно было бы отнести к числу «разумно контролируемых» и направляющих эволюцию в нужную для человека сторону. Напротив, они вызывают эволюционные преобразования, близкие (не говоря уж об отдаленных) последствия которых практически предсказать невозможно. Как правило, люди не могут предвидеть даже тех факторов, которые, вызывая массовую гибель организмов того или иного вида, в то же время являются агентами катастрофического отбора, способного быстро вызвать новую адаптацию.

В биологии много примеров того, как живые организмы реагируют на антропогенные факторы, активно микроэволюционируя. Примерами служат индустриальный меланизм, выработка ядоустойчивых рас насекомых, приобретение бактериями и вирусами устойчивости к лекарственным препаратам. Чаше они осложняют отношения человека

с природой. Выработка резистентности у болезнетворных бактерий заставляет изыскивать все новые сильнодействующие антибиотики. Устойчивость некоторых рас насекомых и грызунов к ядам возросла в сотни раз, и потери от вредителей по-прежнему составляют десятки процентов урожая.

В результате воздействия человека наблюдаются нежелательные изменения численных соотношений видов в природных экосистемах. Преобладающими становятся хозяйственно малоценные виды с высокими коэффициентами размножения, громадной численностью популяций со сложной эколого-генетической структурой. Мышевидные грызуны, «сорные» виды рыб, малоценные породы древесных растений и сорные травы зачастую преобладают в экосистемах, вытесняя доминирующие виды высокоразвитых животных и ценных растений.

Многим микроорганизмам и растениям удалось довольно быстро приспособиться к самым неблагоприятным условиям. Радиоактивные и химические мутагены резко ускорили мутационный процесс.

В больших масштабах идет отбор на резистентность к фенолам, загазо-ванной атмосфере, нефтяной пленке в водоемах и т.д. Эффективность

бактерий - нефтедеструкторов даже стала повышаться при росте концентрации цинка и ванадия. В течение нескольких поколений полевица, ценное кормовое растение, приобрела генетически закрепленную адаптацию к почвам, обогащенным свинцом, медью, никелем и обедненными к тому же кальцием и фосфором. Некоторые растения оказались способными переносить высокие концентрации токсичных элементов в атмосфере и в почвах и создавать довольно стабильные и продуктивные сообщества в районах интенсивной промышленной деятельности. Наблюдаются и случаи сопряженной эволюции с растениями насекомых - фитофагов, приспособленных к питанию растениями с большими концентрациями пестицидов.

Уникальный пример выработки новой адаптации - приспособление калифорнийского кузнечика к гербициду. В его популяции возникли и распространились особи, которые не только нейтрализовали яд, но и трансформировали его в более ядовитое вещество, благодаря этому кузнечик оказался ядовит для хищных насекомых и птиц.

Эволюционные приспособления происходят и в популяциях рыб, птиц, млекопитающих, подвергающихся постоянному истреблению в процессах охоты и ловли. Они ведут к омоложению структуры популяций, к сокращению продолжительности жизни, ускорению смены поколений, уменьшению средних размеров тела. Все больше диких видов животных начинают обитать в антропогенных ландшафтах (белки, бобры, барсуки, лебеди и т.д.). И эта эволюция не направлена человеком, хоть объективно и совпадает с его интересами.

Естественный отбор даже в процессах селекции не утратил своего значения, идет наряду с искусственным отбором. Он может как тормозить, так и ускорять действие последнего. Игнорирование этого обстоятельства может привести к гибели ценных сортов растений и высокопродуктивных пород животных. Требуется система поддержания ценных сортов и пород.

Природные биогеоценозы отличаются большей стабильностью биологического круговорота, чем культурные. Создаваемые человеком виды связаны с меньшей биогенной миграцией элементов, чем их дикие предки, что угрожает дестабилизацией биологического круговорота, так как противоречит биогеохимическим принципам, лежащим в основе функционирования и развития биосферы. Это оказывает до-полнительное воздействие со стороны естественного отбора, идущего в агроценозах.

И, наконец, в наши дни эволюция может идти и без видимого участия человека. Многие новые расы, подвиды и даже виды возникли на наших глазах путем аллополиплоидии - гибридизации с последую-

щим удвоением количества хромосом. Сейчас известен ряд природных

межродовых гибридогенных форм: рябинокизильник (*Sorbocotaneaster*), распространенный на юге Якутии, ячмень - клинэ-лимусовый гибрид (*Hordeum* x *Clinelymus*), распространенный на Памире, гибрид между алычей и абрикосом - в Молдавии и др. Интересными примерами гибридогенного видообразования служат некоторые виды амфибий (из группы европейских зеленых лягушек и рептилий, например кавказские скальные ящерицы). В последнем случае видообразованию способствует возникновение партеногенетических форм. Многие из гибридов обладают высокой конкурентностью и захватывают широкие ареалы.

Таким образом, хотя антропофактор является ведущим в селекционных процессах, в целом эволюция в современной биосфере идет высокими темпами и стихийно, нередко вопреки целям и воле человека. Идет период коренной перестройки биосферы. Отмечаемый во многих работах кризис биосферы является кризисом той биосферы, к которой приспособлен человек. В истории биосферы не раз были периоды ускорения видообразования и усиления естественного отбора. Образование новых форм нередко влекло такие изменения во внешней среде, которые оказывали губительное воздействие на старые группы организмов. Исчезали семейства, отряды, классы, их сменяли новые виды. Со времени своего возникновения организмы меняли биосферу и сами изменялись под воздействием вызванных ими преобразований.

Тема 7

ТЕХНОГЕНЕЗ И УСТОЙЧИВОСТЬ БИОСФЕРЫ

7.1. Техногенная трансформация экосистем

Техногенные характеристики современной биосферы. Деятельность человека как бы расширила границы биосферы в глубины земной коры, в высоты стратосферы и в космос. В то же время наметилось снижение биосферной активности и массы живого вещества. Человек создает сложные конгломераты многих подсистем, управляемых им и притом не аккумулирующих энергию и биомассу, а расходуемых энергии, биомассу и кислород биосферы.

Возникновение множества подсистем и систем техносферы произошло и происходит в границах биосферы. Это усложнило биосферу. Значительная часть экосистем биосферы оказалась измененными антропогенными агентами. На огромной площади, до 25-30% суши, природные экосистемы полностью замещены техногенными системами. Организованного взаимодействия между техносферой и биосферой человеку создать пока не удалось. Большие города, крупные индустриальные предприятия, животноводческие комплексы не только отчуждают и «сжимают» биосферно активную площадь планеты, но и создают опасность из-за огромного количества индустриальных и бытовых отходов, поступающих в окружающую среду (см. схему на с. 191).

Понятие о техногенезе. На протяжении всей истории общества постоянно возрастает активность и динамичность антропогенного фактора: охотники и собиратели существовали около 30 тысячелетий назад, земледельцы и скотоводы - 6-8 тыс. лет, земледельцы, скотоводы и ремесленники цивилизаций древности - 3-5 тыс. лет, начало индустриальной эпохи - 0,5 тыс. лет назад. Если на заре жизни человека аккумулятивное воздействие на природу проявлялось в течение десятков тысяч лет (уничтожение крупных животных), то техника тысячекратно сократила период воздействия (мода на слоновую кость, пушнину, страусовые перья вела к быстрому истреблению животных). В хозяйственный оборот вовлекаются ресурсы, не связанные с пищевыми потребностями: минеральные и лесные. Технический прогресс шел с ус-

корением благодаря успехам наук, и сам способствовал развитию научных знаний.

Биогенные и техногенные характеристики биосферы

(Ковда, 1985)

Живое вещество планеты, т/год	$n \cdot 10^{14}$
Биомасса, т/год	
суши	$n \cdot 10^{13}$
лесов	$n \cdot 10^{12}$
трав	$n \cdot 10^{11}$
сельскохозяйственных растений	$\sim 10^{10}$
людей и сельскохозяйственных животных	$\sim 10^{8/9}$
Годичный сток рек, км ³	$47 \cdot 10^5$
Потребление воды, км ³	$\sim 3 \cdot 10^3$
Твердый сток рек, т/год	
в прошлом	$\sim 9 \cdot 10^3$
в настоящем	$\sim 24 \cdot 10^9$
в будущем	$\sim 40-50 \cdot 10^9$
Годичный оборот биофилов, т	$\sim n \cdot 10^{10}$
Химический сток рек, т/год	$\sim 3 \cdot 10^9$
Оборот углерода в биомассе суши, годы	$\sim 300-400$ (до 1000)
Поступление антропогенной CO ₂ , т/год	$\sim 15-20 \cdot 10^9$
Распаханность под сельское хозяйство, га	$\sim 1,5 \cdot 10^9$
Пастбища, га	$\sim 3 \cdot 10^9$
Годичное производство удобрений (в туках), т	$\sim 5 \cdot 10^8$
Пыль индустриальная, т/год	$\sim 0,25 \cdot 10^9$
Мусор, отходы, отбросы, т/год	$\sim 20 \cdot 10^9$
Выемка рудных пород, т/год	$\sim 5 \cdot 10^9$
Индустриальные и городские сбросовые воды, м ³ /год	до $55 \cdot 10^{11}$
Аэрозоли и газовые выбросы, т/год	до $n \cdot 10^9$

Геологическую деятельность (совокупность геохимических и геофизических процессов) человека А. Е. Ферман назвал техногене-зом. В геохимическом аспекте техногенез включает:

извлечение химических элементов из среды (литосферы, ат-мосферы, гидросферы) и их концентрацию;

перегруппировку химических элементов, изменение химического состава соединений, создание новых химических веществ;

рассеяние вовлеченных в техногенез элементов в окружающей среде.

Рассеяние часто бывает побочным. Есть и преднамеренное рассеивание: внесение удобрений, мелиорантов, орошение сточными водами, ядохимикаты.

Отрицательное последствие техногенеза заключается в загрязнении экосистем. Процессы техногенеза можно разделить на две группы. Первая унаследована от биосферы, к ней относятся биологический круговорот, круговорот воды, рассеивание элементов при отработке месторождений, распыление веществ и др. Вторая группа находится в резком противоречии с природными условиями. Металлическое состояние Fe, Ni, Cr, V и некоторых других элементов не соответствует физико-химическим условиям земной коры. Человек уменьшает энтропию, тратит много энергии на получение и содержание элементов в свободном состоянии. Изготавливаются соединения, никогда не существовавшие в природе: полимеры, лекарства, краски, сплавы и др. В. И. Вернадский приводит такие цифры: в античную эпоху человечество использовало 19 элементов, в XVIII веке - 28, в XIX - 50, в начале XX века - 60. В настоящее время используются все 89 элементов, известных в земной коре, также искусственно получены изотопы.

С 60-х гг. геохимическая деятельность человека не уступает по мощности природным процессам. Человечество извлекает из недр и освобождает при сжигании химические элементы в равном или большем количестве, чем их потребляется растительностью при создании годовой продукции. Добыча из недр Cd превышает фитопотребление более чем в 160 раз, Hg - в 110 раз, Pb - в 35, As, F - в 15, U - в 6, Sn - в 5, Cu - в 4, Mo - в 3 раза. Не меньшее или даже большее количество редких и рассеянных элементов рассеивается при сжигании угля, превышая использование в биологическом круговороте Hg - в 68700 раз, As - в 125, Cd - в 40, Zr - в 10. Обогащаются техногенными элементами преимущественно наземные экосистемы. Для сравнения разных продуктов производства по геохимическому значению применяется коэффициент ноогенной концентрации:

$$C = C_1/N_1 + C_2/N_2 + \dots + C_i/N_i, \text{ где}$$

i - количество аномальных элементов; C - содержание в данном продукте, N - содержание в биосфере.

Наиболее высокий коэффициент характерен для каменного угля, при его сжигании в экосистемы поступает избыточное количество 25 элементов, в том числе углерод, тяжелые металлы, уран. Ниже коэффициенты у нефти и газа, но и с ними поступает избыточное количество C, N, S, I, Cd и инертных газов - He, Ar. Велик коэффициент у

удобрений (порядка 1000-2000), у фосфорных выше, чем у калийных и азотных. В фосфорных удобрениях много F, Cd, Sr, As, F, Cu, Pb, Hg.

В РФ наибольшему загрязнению подвергаются экосистемы Евро-пейской степной области. В Нечерноземье повышенный фон в Московской области, низкий - в Поволжском и Северо-Западном регионах. Критерии дифференциации экосистем по степени загрязненности в настоящее время весьма субъективны. Исходя из основ учения о биосфере, по-видимому, незагрязненными на настоящий момент следует считать экосистемы, отвечающие следующим критериям (Глазковская, 1988):

не нарушаются концентрационные, газовые и окислительно-восстановительные (средообразующие) функции живого вещества, регулирующие геохимическое самоочищение системы;

биохимический состав продукции не нарушается настолько, чтобы вызвать нарушение жизненных функций в пищевых цепях;

- не понижается биопродуктивность системы; не нарушается информативность - сохраняется
- генофонд.

При изменении этих условий происходит техногенная трансформация экосистем, а затем и разрушение.

Биофильность есть отношение содержания элемента в живом веществе к кларку литосферы. Технофильность есть отношение массы ежегодно добываемого человеком элемента к кларку литосферы. Чем больше технофильность элемента и ниже биофильность, тем опаснее для живых организмов загрязнение его соединениями. Наиболее токсичны Hg, Cd, F, затем - Sb, As, Pb, U, затем - Se, Be, Ba, St.

Техногенное загрязнение имеет разные размеры. Глобальное охватывает весь земной шар: повышение содержания CO₂ в атмосфере в результате сжигания угля и нефти, накопление Sr⁹⁰ после ядерных взрывов и др. Загрязнения могут распространяться на материки, страны, зоны, области: применение минеральных удобрений, ядохимикатов. Локальные загрязнения связаны с конкретным рудником, заводом, городом.

В результате загрязнения возникают геохимические аномалии в почвах, породах, строениях (литохимические), в водах (гидрогеохимические), в атмосфере (атмогеохимические), в организмах (биогеохимические). Аномалии не всегда оказывают вредное воздействие на экосистемы. Полезными являются повышенное содержание кальция в районах известкования почв, добавка NaI, KI в районах развития эндемического зоба, фторирование воды в районах кариеса, применение микроудобрений, минеральных подкормок.

Интенсивное изменение физических и геофизических факторов среды произошло только в XX веке. Именно с этого времени началось широкое использование электрической, а затем и ядерной энергии, появилось множество разнообразных машин.

Техногенное радиоактивное загрязнение биосферы – один из самых опасных процессов. Даже незначительное повышение радиации сильно влияет на генетический аппарат организмов, в том числе и людей. Количество мутаций во многом определяется суммарной дозой, а не жесткостью и интенсивностью облучения. Поэтому, говоря о радиоактивном загрязнении, в первую очередь имеют в виду не химические особенности элементов, а их радиоактивное излучение. К основным источникам радиоактивного загрязнения относятся: разработка урановых месторождений, перевозка руды и рудных концентратов, обогащение и переработка руд, хранение руд и отходов во временных хранилищах, складирование «пустых» пород при отработке урановых месторождений, исследование ядерных устройств в военных целях (США в войне против Японии), испытание ядерных устройств на военных полигонах (наземные и подземные взрывы), деятельность предприятий ядерно-топливного цикла, использование энергетических ядерных реакторов, аварии на АЭС и реакторах, аварии на подвижных ядерных устройствах (надводных и подводных кораблях, космических аппаратах), использование ряда минеральных удобрений, сжигание углей на ТЭЦ и ГРЭС и др.

Техногенные искусственные магнитные и электромагнитные поля, инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое и лазерное излучения, акустические колебания, вибрация, электрический ток охватили практически всю биосферу. Их максимум приходится на селитебные, особенно городские, ландшафты. У большинства этих факторов есть природные аналоги, безопасности жизнедеятельности угрожают те из них, интенсивность воздействия которых существенно отличается от природных. Установлена их связь с ростом травматизма, общей заболеваемости; степень допустимого воздействия указанных факторов регламентируется на производстве санитарными нормами и ГОСТом. Мало изучен характер техногенного геофизического воздействия на других обитателей планеты, хотя с ним уже связывают массовые «самоубийства» морских животных, выбрасывающихся на берег.

Накопление в экосистемах продуктов техногенеза. Химические элементы, вырвавшиеся из техногенных потоков, включаются в природные воздушные, водные, биогенные миграционные потоки,

испытывают превращения, усиливающие или уменьшающие их подвижность. Часть веществ накапливается на геохимических барьерах, они и

вызывают техногенные геохимические аномалии. Относительно хорошо изучены локальные аномалии, связанные с рассеиванием в атмосфере выбросов промышленных предприятий, автотрасс. Вокруг крупных городов в составе твердых атмосферных осадков много W, Cd, Sb, Hg (превышают фоновое в 10 раз), Pb, Zn, Mo, Ni, Cr, V, Bi. Концентрация элементов-загрязнителей постепенно убывает по мере удаления от источника, но в почвах и растениях прослеживается даже на расстоянии 18-30 км, заметно накопление загрязнителей - на расстоянии 3-5 км. Форма и протяженность фитопочвенной аномалии зависит не только от мощности источника и продолжительности периода его функционирования, но и от направления и силы ветров.

Состав и протяженность потоков техногенных веществ контролируется общей геохимической обстановкой территории и наличием геохимических барьеров. В миграционных потоках (растворы истинные, коллоидные, взвеси) часть веществ при изменении условий (кислотно-щелочных, окислительно-восстановительных) теряет подвижность, переходит в инертные нерастворимые формы и задерживается на барьерах. Если они все же включаются в биологический круговорот, то возникают фитогеохимические, а затем и зоогеохимические аномалии, зато очищаются воды и почвы. Растительность задерживает

и частично ассимилирует вещества из атмосферы, осадков, техногенные элементы включаются в биогенную миграцию.

Значительная часть техногенных веществ удерживается почвой благодаря ее поглотительной способности. Вещества дифференцируются в пределах профиля в зависимости от свойств горизонтов (химическое связывание, физико-химическая адсорбция, механическая поглотительная способность). Загрязненные воды при этом очищаются, а почва загрязняется. Токсичность загрязнителей может нейтрализоваться; кислоты нейтрализуются в щелочных почвах, щелочи - в кислых, органические загрязнители разлагаются и минерализуются, тяжелые металлы входят в кристаллическую решетку минералов и становятся неподвижными. Поведение загрязнителей в почве зависит от генетических свойств почвы. Органические загрязнители накапливаются в почвах, имеющих мощные органические горизонты и соответственно характеризующиеся низкой микробиологической активностью (болотные, тундровые, таежно-лесные). Тяжелые металлы необратимо загрязняют почвы с непромывным и выпотным водным режимом. Все виды загрязнителей концентрируются в почвах с водозастойным режимом влаги, в почвах геохимически подчиненных ландшафтов (долины рек, депрессии водоразделов).

Вещества, не удержанные почвой, поступают в породы, грунтовые воды. Там тоже есть геохимические барьеры: сорбционные, восстановительные, окислительные. Оптимальный вариант, когда загрязнители не достигают грунтовых вод, но осаждаются ниже корнеобитаемого слоя, т.е. исключаются из биологического круговорота и водной миграции.

Комплексным геохимическим барьером служат илы водоемов, в них идут процессы биопоглощения, соосаждения, сорбции, восстановления.

Термодинамические и сорбционные барьеры возникают и в атмосфере. Техногенные газы и аэрозоли испытывают инверсии оседания в свободной атмосфере, перераспределяются приземными температурными инверсиями. Продолжительные туманы являются сорбционным барьером для оксидов серы и азота, в атмосферной воде образуются сильные кислоты.

Растительность регулирует поток веществ в системе атмосфера - растительность - почва. Регуляция зависит от видового состава фитоценоза. Для всех природных фитоценозов характерна дифференциация макро- и микроэлементов между семействами, родами, видами. В горной тундре кустарники и разнотравье накапливают в золе Mn, Ba, Sr, а лишайники - Pb, Ni, Co, Cr, V, As, Ag, злаки и осоки содержат минимальное количество микроэлементов. Такая сложная геохимическая структура поддерживает устойчивость экосистем по отношению к загрязнителям. В монокультурных агроценозах выше чувствительность к загрязнению.

По характеру поглощения выделяются безбарьерные виды растений, у которых накопление микроэлементов в почве сопровождается ростом их содержания в золе растений. При этом быстро наступает отравление, и они первыми выпадают на техногенных аномалиях. Барьерные виды имеют физиологические механизмы, препятствующие аккумуляции микроэлементов (выводящие при выделении метаболитов из корней, при дыхании и транспирации, сброс листьев, накопление в неактивных тканях коры, древесине). Высокобарьерные растения являются аккумуляторами, создают аномалии в фитопродукции и в почвах, их продукция может стать ядовитой в пищевых цепях. Низкобарьерные виды самые устойчивые в фитоценозах, их химический состав слабо зависит от загрязнения среды.

Геохимические барьеры обладают определенной емкостью. Мощные техногенные потоки могут разрушить их. Так, карбонаты растворяются кислотами. Особенно хрупкими являются биогеохими-

ческие барьеры, отравление растительности прекращает биопоглощение, и изменяются вся геохимическая обстановка в экосистеме.

Загрязнять радионуклидами биосферу человек начинает с начала разработки месторождений, продолжает в течение всего периода их использования. Опасность загрязнения не исчезает и после захоронения отходов. Значительная часть всех захоронений будет представлять опасность многие тысячелетия. Для захоронения часто используется мировой океан. Увеличение в водах концентрации урана в сотни раз по сравнению с фоновым уровнем подавляет жизнедеятельность большинства живых организмов (исключение составляют лишь некоторые адаптированные виды и синезеленые водоросли). Радиация нарушает иммунитет и предопределяет возникновение разнообразных заболеваний, осложненных тяжелыми последствиями. Вызванные изменения в живом организме имеют наследственный характер.

После взрывов водородных бомб радиоактивные осадки осаждаются на территории радиусом 10000 км. В результате взрыва на островах Бикини на площади 25600 км² образовалась зона со смертельной дозой облучения, а радиоактивность воды в радиусе 2000 км даже через два месяца превышала степень ПДК для питьевой воды в 20 раз. В Англии, удаленной более чем на 8000 км от районов взрывов, общее количество только ⁹⁰Sr за 4 года испытаний увеличилось в 7 раз. Техногенные радионуклиды скапливались не только в почвах, водах и растениях, но и по пищевым цепям в организмах рыб, животных, людей.

В Якутии есть локальные участки с повышенным содержанием тяжелых естественных радионуклидов, которые сформировались в пределах Алданского нагорья в процессе поиска и разработки урано-держущих рудных месторождений. На них прослежен техногенно-аккумулятивный тип распределения нуклидов, характеризующийся максимальным содержанием загрязнителей в верхних горизонтах почв. Повышена концентрация ²³⁸U, ²²⁶Ra в древесных и травянистых растениях зоны загрязнения.

⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs являются радионуклидами глобальных атмосферных выпадений. В период массовых выпадений максимальная концентрация нуклидов отмечена в растительном покрове. Спустя два десятилетия после введения моратория на испытание ядерного оружия в трех средах ⁹⁰Sr более или менее равномерно распределился в растительном покрове, лесной подстилке и верхнем слое почв (0-10 см), а для ¹³⁷Cs отчетливо проявилась приуроченность его к верхней, наиболее гумусированной части аккумулятивного почвенного горизонта. Подвижность ⁹⁰Sr подтверждена как в профилях разных почв, так и в экоси-

стемах в целом, что приводит к загрязнению этим радионуклидом аккумулятивных участков. На верховых болотах существенная роль в аккумуляции радионуклидов принадлежит моховой растительности, характеризующейся повышенной накопительной способностью по сравнению с представителями высших растений.

Радионуклиды массовых выпадений распределены по территории нашей страны неравномерно. Так, уровень их содержания в Якутии можно считать фоновым, а регионы Среднего и Южного Урала характеризуются более высоким содержанием ¹³⁷Cs в почвенно-растительном покрове.

Многолетние газоаэрозольные выбросы Белоярской АЭС на Среднем Урале не способствовали ощутимому загрязнению ^{137}Cs и ^{90}Sr примыкающих к ней наземных экосистем. Запас ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвенно-растительном покрове 30-километровой зоны приближается к значениям, характерным для Среднего Урала. Радиоактивное загрязнение связано с жидкими промышленными сбросами, поступающими в Ольховскую болотно-речную экосистему. Основные загрязнители, ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{60}Co , накапливаются в почвах приболотных зон и произрастающих на них растениях. Наибольшее накопление ^{137}Cs наблюдалось в слое почв 0-10 см, где запас его на порядок выше контрольных уровней. Прибрежные заболоченные почвы служат природным экраном, препятствующим увеличению ореола рассеивания.

Печально известными фактами отмечена работа ПО «Маяк» в Челябинской области. В 1949-1952 гг. им были сброшены в р. Течу высокорadioактивные отходы. Произошло загрязнение как реки, так и

ее пойменных участков «долгоживущими» радионуклидами, в особенности ^{137}Cs , ^{90}Sr . Возросло их содержание в почвах поймы р. Исети, вниз по течению от места впадения в нее р. Течи. В верхнем и среднем течении р. Течи в пойменных почвах преобладает ^{137}Cs , а далее основным загрязнителем становится ^{90}Sr из-за его большей миграционной подвижности. Высокое содержание физико-химических подвижных форм ^{90}Sr в почвах и его способность перемещаться с поверхностным и внутрипочвенным током обеспечивает его большее распространение (примерно на два порядка величин) по сравнению с ^{137}Cs .

Авария на Чернобыльской АЭС в 30-километровой зоне привела к загрязнению экосистем $^{137}\text{Cs} > ^{134}\text{Cs} = ^{90}\text{Sr}$. Наиболее загрязненными оказались растения и почвы лесных насаждений водораздельных участков, а также почвы речных долин, отличающиеся задернованностью и гидроморфными условиями. Минимальное загрязнение характерно для слабогумусированных песков остепненных прирусловых валов пойм. На первых этапах не обнаружено интенсивного перерас-

пределения радионуклидов как в профиле почв, так и в ландшафте. Лишь на наиболее динамичных участках прирусловой поймы и переувлажненных мохово-травянистых западинах наблюдается заглупление максимумов загрязнения радионуклидами на 10-15 см от поверхности.

Устойчивость экогеосистем к загрязнению. Устойчивость определяется характером техногенных воздействий и геохимической структурой экогеосистем. Техногенные воздействия могут быть постоянными (перерабатывающие предприятия), периодическими (повторяющиеся аварии, повторные известкования), сильными (авария, взрыв) с мощным техногенным потоком, вызывающим трансформацию экогеосистем с длительным периодом посттехногенного воздействия. При сильных воздействиях техногенные модификации резко отличны от природных экосистем, так образуются солончаковые и солонцовые экосистемы в тайге при воздействии сильноминерализованных вод в районах нефтепромыслов.

Техногенные воздействия могут быть совместимы с направлением природных процессов, ускоряя или усиливая их; так действуют кислые дожди в таежной зоне или минерализованные нефтяные воды в аридных зонах. Если воздействие противоположно природному направлению, то экогеосистема обладает буферными свойствами (до некоего предела): кислые дожди нейтрализуются в почвах черноземной зоны. Если культурная химизация не совпадает с природным направлением геохимических процессов, то эффект ее не устойчив. Требуется повторное известкование кислых почв и гипсование щелочных почв, дробное внесение удобрений в условиях влажного климата тропиков.

Устойчивость экосистемы зависит от ее положения в рельефе. Геохимически автономные экогеосистемы водоразделов более устойчивы, чем подчиненные экогеосистемы. Самоочищение экосистем водоразделов зависит от мощности поверхностного и грунтового стока. «Самоочищение» автономных экогеосистем ведет к загрязнению подчиненных, иногда отстоящих на расстоянии десятки и сотни километров (накопление химикатов, пестицидов).

Судьба продуктов техногенеза в экогеосистемах зависит в значительной степени от геохимической обстановки, которая регулирует накопление, включение и вывод из биологического круговорота. Ведущими параметрами геохимической среды являются кислотно-щелочная и окислительно-восстановительная обстановка, наличие органического вещества в природных водах (с которым связана миграция тяжелых металлов), соотношение осадков и испаряемости (испаря-

тельная концентрация растворов), распространение засоленных почв и соленых озер (тоже показатели испарительных барьеров), ветра, вечная мерзлота (механический и низкотемпературный барьер), форма рельефа и др.

Техногенные экосистемы.

Урбо-экосистемы. К середине 1990-х гг. 43 % (2,3 млрд) населения мира проживало на урбанизированных территориях, тогда как в 1950 г. городское население составляло всего 29 %. Предполагают, что

к 2025 г. городское население достигнет 5,2 млрд. Наиболее урбанизированными регионами являются Австралия, Новая Зеландия, Северная и Западная Европа, где городское население составляет более 80 %. В бывшем СССР этот показатель был равен 66 %. Урбанизированные земли, по оценке Исполкома ЮНЕП, составляют примерно 60 млн га, или 0,46 % всей площади земель мира.

В городской атмосфере создаются очаги тепла и пыли, которые существенно влияют на температуру воздуха и осадки. Центр города в среднем теплее, чем его окраины и окрестности. Отличия в климате города и окрестностей иногда равнозначны передвижению на 200-300 км к югу. Повышенная конвективность атмосферы города, а также ее техногенная запыленность приводят к увеличению количества гроз, росту интенсивности ливней и общего количества осадков. Зимние осадки могут достигать 150 %, летние – 115 % от нормы. В городах чаще, чем в сельской местности, бывают грозы, облачная погода, выпадает больше дождей и меньше снега. В воздухе городов в 100 раз больше пыли и 5-25 раз больше отработанных газов, чем в агроэкосистемах. Загрязненная атмосфера городов поглощает около 20 % солнечного света, при низком стоянии солнца – более 50 %. Все это отражается на здоровье населения: идет рост респираторных, сердечно-сосудистых, раковых и других заболеваний.

Современные города представляют собой сплошную геохимическую аномалию полиэлементного состава. Главные источники загрязнения - автомашины и промышленные предприятия. На автомагистралях воздух обогащен CO, NO, NO₂ и др. Техногенные ореолы вокруг предприятий распространены на километры. Среди элементов-загрязнителей особо опасны Hg, Pb, Cd: накапливаются в растениях, почвах, водах, животных, человеке. Их концентрация в центре городов может быть в 25 раз выше, чем на окраинах. Образуются и особые геохимические туманы - смоги. В водоемах городов, в прудах на территории металлургических и химических комбинатов образуются почти полностью техногенные илы. Спектр накапливающихся элементов-

загрязнителей очень широк: Ag, Hg, Cd, Pb, Ni, Cu, Zn, Sn, Bi, Mo, P и

т.д. Во многих илах повышено содержание битумов, появляются синтетические продукты, неизвестные в биосфере, существенно изменяются микробиологические процессы. Например, в реках и каналах Санкт-Петербурга илы обогащены органическими соединениями (до 30 %), Cu и Zn. В речных илах белорусских городов фракция менее 0,05 мм обогащена Pb, Ni, Cr, V, Cu.

В процессе урбанизации формируется урбо-экосистема. Урбо-экосистема – это природно-городская система, состоящая из фрагментов природных экосистем, окруженных домами, промзонами, автодорогами и т.д. Она характеризуется созданием новых типов искусственно созданных систем в результате деградации, уничтожения и (или) замещения природных систем.

Для урбо-экосистемы характерны меньшая рекреационная ценность, нарушенность биологического круговорота, сокращение био-разнообразия как по составу, так и по структурно-функциональным характеристикам. Формируются совершенно иные по породному составу, структуре и функциональным особенностям культурные растительные сообщества. Городская флора не утрачивает полностью своих зональных черт, но зональные черты лесной зоны ослаблены в результате приобретения растительностью более южного облика с более засушливыми условиями. Городская флора формируется из местных аборигенных видов и интродуцированных привнесенных, заносимых видов. Особенности городской флоры являются следующие: богатство флористического состава, традиционная интродукция видов, флористическая неоднородность города, обусловленная его экологической, географической и возрастной неоднородностью. Исчезает ряд важных групп беспозвоночных животных сапрофильного комплекса, непосредственно участвующих в разложении органических остатков. При загрязнении химическими и биологическими веществами может происходить заражение чужеродными почвенными микроорганизмами

и появление патогенных видов. Существенна опасность явления гено-токсичности, увеличения мутаций микроорганизмов.

В экологических условиях города формируются новые почвы и почвоподобные тела, отличающиеся чрезвычайной гетерогенностью и гетерохронностью сложения и свойств. В почвах замыкается биологический круговорот веществ, происходят биохимическое преобразование культурного насыпного слоя, трансформация поверхностных вод в грунтовые. Почвы являются питательным субстратом для растений, служат банком семян, регулятором газового обмена и т.д. Городские почвы сохраняют биокосную природу и выполняют важнейшие экологические функции, главными из которых являются пригодность для

произрастания зеленых насаждений, способность сорбировать в толще загрязняющие вещества и удерживать их от проникновения в почвенно-грунтовые воды, а также от поступления пыли в городской воздух.

Агроэкосистемы. В агроэкосистемах ведущую роль играет биологический круговорот, для его характеристики используют понятия биомассы, продукции, коэффициентов биопоглощения. В агроэкосистемах человек стремится усилить образование живого вещества. Повышение продуктивности достигается через мобилизацию внутренних минеральных ресурсов путем распашки почв, усиление окислительных процессов при осушении болот, орошения, а также путем химизации - дополнительного внесения минеральных элементов. Для повышения продуктивности применяются NPK - удобрения, но и с ними вносятся многие микроэлементы. Все это порождает новые проблемы. Избыток нитратов ухудшает качество продуктов, вымывание может сделать токсичной питьевую воду. Избыток фосфатов за счет их смыва вызывает цветение водоемов. «Побочные» микроэлементы могут загрязнять среду, вовлекаясь в водную миграцию.

Распашка усиливает механическую миграцию (водная и ветровая эрозия) с потерей многих питательных элементов (часто потери превышают привнос с удобрениями). В Латинской Америке «эрозионные пустыни» в 1963 г. охватывали 40-50 млн га. В Пуэрто-Рико к 1960 г. на половине площади было смыто $\frac{3}{4}$ почв. Ежегодный минеральный сток на Земле составляет (по Л.Г. Бондареву) около 16 млрд т (твердый сток + ионный сток), причем почти половина его техногенна. Активизировалась и ветровая эрозия, возросли повторяемость и интенсивность пыльных бурь, что также связывают с техногенезом. Техногенными причинами объясняют увеличение пыли в ледниках, помутнение атмосферы над морями и океанами и другие явления.

Новым типом высокопродуктивной агроэкосистемы являются оазисы в пустынях и полупустынях. Недостаток воды подавляет здесь биологический круговорот, хотя в пустыне много тепла, света, плодородны почвы. Некоторые оазисы в пустынях уже существуют тысячелетия (низовья Зеравшана, Амударьи, Мургаба). Орошение вызывает «взрыв» биологического круговорота, возникает оазис с новыми почвами, новым климатом, искусственными реками и озерами (арыками и водохранилищами). Однако в оазисах возникают новые экологические проблемы. Орошение резко увеличивает продукцию, но при этом почвы сильно обедняются микроэлементами. В условиях орошения благоприятное воздействие на сельскохозяйственные культуры оказывают Zn, I, B, Mn, Mo. Дефицит микроэлементов в кормах для животных пополняется минеральной подкормкой Co, Cu, Mn, Zn. Ирригация мо-

жет вызвать подъем уровня грунтовых вод, развивается вторичное засоление, ухудшается качество питьевой воды.

В осушенных торфяниках на техногенных почвах формируются новые экосистемы. Осушение может ухудшить водный режим окружающих природных территорий, пересушенные почвы быстро теряют органическое вещество.

В экосистемах районов добычи и переработки полезных ископаемых трансформация зависит как от специфики и масштабов производства, так и от природных условий. В гумидных районах угледобычи, по Н. П. Солнцевой и Е. М. Никифоровой, в экосистемы поступают тяжелые металлы, битумозные вещества, легкорастворимые соли, главным образом сульфаты железа, марганца, алюминия. В результате засоляются почвы, из-за восстановления сульфатов возникают сульфидные геохимические барьеры, на которых концентрируются соединения железа. В почвах и живых организмах накапливаются канцерогенные Be, Sc, Bi, Hg, Cd, Se и другие микроэлементы.

В нефтепромыслах Западной Сибири пресные грунтовые и пластовые воды используются для водоснабжения. В результате в миграцию включаются соленые воды глубоких горизонтов. В подземных водах уменьшается содержание Fe, Mn, H₂S, гуминовых веществ, ряда микроэлементов, растет содержание фенолов, нефтепродуктов, ионов аммония. Энергично развивается микробиологическая деятельность. На нефтепромыслах других регионов установлено изменение почв и растительности под влиянием нефти, в тайге формируются солончаки.

В аридных районах особенно большое значение приобретают ат-мосферная миграция, распыление руд и отвалов. В районах одного из горнодобывающих комбинатов в лесостепи Южного Урала (медно-колчеданные руды) основными источниками загрязнения являются рудный карьер, отвалы, обогатительная фабрика, склады. Установлено загрязнение почв и растительности Cu, Zn, Pb, Ni, V, Cr. Радиус ореола техногенного загрязнения колеблется от 5 до 20 км. В Средней Азии в районе фосфатного производства среда загрязняется S, F, As и тяжелыми металлами, характерен дефицит меди и цинка у домашних животных, обусловленный избытком фосфора и серы.

Площадь бывших рудников и карьеров на территории страны достигает миллионов гектаров. В результате рекультивации их превращают в агроландшафты, зоны отдыха и т.д. В экосистемах рекультивированных территорий, как правило, сохраняется техногенное загрязнение.

Автомобильная дорога с примыкающей к ней полосой – это экосистема, в которой за счет выхлопных газов и других воздействий

автомашин меняется состав атмосферы, почв, растений и животных. В США исследование полосы шириной 50 м по обочинам шоссе № 1 и шоссе Балтимора – Вашингтон показало, что земляные черви здесь «обогащены» Pb, Zn, Ni, Cd, причем птицы, поедающие червей, погибают от отравления свинцом и цинком.

Энергетические проблемы техногенеза. В своей преобразующей среду функции человечество не является источником энергии. Энергетические возможности человечества как биологического вида чрезвычайно ограничены. При собственной незначительной биомассе и био-энергии человек сумел создать и управляет разнообразной и могучей техникой. С ее помощью человечество вызывает перемещение более значительных минеральных масс (почв, горных пород), чем поступает

в мировой океан с речным стоком и выбрасывается через жерла вулканов. По приблизительным подсчетам, еще 30 тысячелетий назад благодаря первобытной технике человек увеличил в 3-4 раза свою физическую мощь. Позже в техногенез – глобальную техническую деятельность по преобразованию окружающей среды – были вовлечены домашние животные, и биоэнергия человека в этом процессе стала составлять десятую, пятидесятую, сотую доли.

Предки современного человека занимали нишу собирателя – вида с широким спектром потребления растительной и примерно в 10 раз меньше доступной животной пищи. Принимая среднесуточную скорость человека 15 км/сут., ширину сбора продуктов 1 м/чел., время производства продуктов питания 1 год, получим кормовую территорию 550 га/чел. Если принять ареал первобытного человека-собирателя равным 10⁹ га (порядка площади современной пашни), то первобытное население Земли не превышало 2 млн чел. В таких условиях предки человека-собирателя просуществовали около миллиона лет. Открытие огня около 1 млн лет назад позволило человеку с нишей охотника заселить значительные территории умеренного климата, где жизнь посредством собирательства невозможна. Население возросло от этого незначительно, ибо территория потребления охотника больше территории собирателя.

Открытие земледелия дало возможность увеличить объем потребления растительных продуктов с обрабатываемых площадей до величин, сравнимых со всей первичной продукцией, путем выращивания монокультур и вытеснения большинства конкурирующих видов потребителей. Необходимая площадь потребления сократилась до нескольких га/чел. Энергия, затрачиваемая на обход территории, стала затрачиваться на обработку пашни.

Земледелие привело к оседлому образу жизни. Минимальные энергетические затраты на передвижение обеспечивались разобщением земледельцев по деревням и хуторам. Генетически закрепленная стратегия конкурентного взаимодействия и воспроизводства людей осталась прежней. Возникли города, потребляющие продукцию земледелия и выполняющие основные функции конкурентного взаимодействия, включая оборону государства.

На сократившейся в сотни раз территории потребления человек не мог собрать необходимую животную продукцию, наряду с земледелием возникает скотоводство. Так как продукция скота в 10 раз меньше его пищи, для получения десятой доли продукции человек вынужден иметь биомассу скота, равную биомассе людей, а площадь лугов и пастбищ - порядка площади пашен. На пашне человек потребляет такую долю биомассы, что ее естественное воспроизводство не возможно. Человек вынужден взять функции воспроизводства на себя: обрабатывать, удобрять, засеивать. Земледелие и скотоводство позволили освоить новые территории в умеренном поясе и увеличить численность человека примерно в 20 раз по сравнению с собирателями.

Около 200 лет назад началось использование энергии ископаемого топлива для передвижения людей или объектов питания и обработки сельскохозяйственных угодий. Это позволило увеличить долю потребления с пашни до максимума и освоить новые земли, которые нельзя было обработать вручную. Со времени открытия земледелия и скотоводства до начала индустриализации численность населения росла медленно и за десять тысяч лет увеличилась в 10 раз. За последние 200 лет дополнительного энергозатрата население Земли увеличилось в 5 раз и составляет около $6 \cdot 10^9$ чел. В результате существование людей как на вновь освоенных территориях, так и на традиционных без дополнительных энергозатрат стало невозможным. Несмотря на то, что транспорт поглощает около трети объема общего энергопотребления, именно открытие и совершенствование передвижения явилось причиной научно-технического прогресса.

Современное энергопотребление человека основано на невозобновимых запасах ископаемого топлива (угля, нефти, газа) и составляет 10 Твт (2,5 кВт/чел), что примерно на порядок превышает доступную для использования человеком мощность возобновляемых источников энергии (солнечная, ветровая, геотермальная, приливная, гидромощность рек и прирост древесины).

Человечество в будущем возможно перейдет на прямое получение нужной ему энергии путем трансформации энергии Солнца. Уже существуют фотопреобразующие аппараты с эффективностью исполь-

зования солнечной радиации на 1-1,5 порядка эффективнее, чем в среднем природный фотосинтез.

7.2. Техногенез и геосферы планеты

Техногенез и гидрографические, геологические изменения.

Реки тысячелетиями прокладывают свое русло и разрабатывают долину в коренных породах. С помощью техники человек за короткое время создает канал, соизмеримый по ширине и длине с рекой. В настоящее время шлаков накапливается в 10 раз больше, чем осажается известковых илов во всем мировом океане. На устройство искусственных морей-водохранилищ уходят считанные годы.

При горных работах образуются котлованы, которые нередко глубже пещер. Крупнейшие открытые разработки месторождений полезных ископаемых соизмеримы с самыми крупными вулканическими кальдерами. Общая протяженность ежегодно пробиваемых подземных горных выработок (шахт, штолен) значительно превышает масштабы годового прироста подземных форм естественного карста.

В результате мощных откачек подземных вод и разработок месторождений нефти и газа происходит опускание земной поверхности на огромных территориях. Например, откачка подземных вод с целью орошения в долине Сан-Хоакин (Калифорния) привела к опусканию поверхности до 1,5 м на площади около 52 тыс. га примерно за 40 лет.

В районе Лос-Анджелеса зарегистрированы еще большие скорости - до 5 см в месяц - на нефтепромыслах Лонг-Бич, где за 15 лет территория площадью около 30 кв. км опустилась на 2,7 м. В Токио отдельные районы опускаются на несколько см в год. Мехико за 80 лет осел более чем на 6 м при скоростях опускания, достигающих десятков сантиметров в год. В естественных условиях скорость опускания земной поверхности редко характеризуется указанными величинами.

В природных условиях из положительных форм рельефа быстро растут шлаковые и лавовые конусы вулканов. При горных работах за десятилетия возникают многочисленные высокие (до 100 м и более) терриконы. В сущности, современный город можно считать скоплением искусственных каменных

сооружений, напоминающих высокие скалы. Конечно, человек не в силах конкурировать с глобальными вертикальными движениями земной коры, в которые вовлечена практически вся поверхность планеты. Однако тектонические движения происходят необычайно медленно (обычно порядка несколько сантиметров в столетие). По сравнению со скоростями движений в зоне активного

техногенеза эти естественные скорости выглядят неувеличиваемо малыми. Создание глубинных водохранилищ и крупные перемещения масс при горных работах способны вызвать землетрясения или увеличивать их частоту и силу. Подземные ядерные взрывы эквивалентны по мощности слабым и средним сейсмическим толчкам.

Техногенные изменения атмосферы.

251 атмосфере меняется содержание главных компонентов: кислород, азота, водяного пара, углекислого газа, взвешенных в воздухе минеральных частиц - аэрозолей. Выбросы техногенных газов, пыли содержат много токсичных веществ. В выхлопных газах автомобилей содержится около 200 химических соединений, в частности канцерогенных полициклических углеводородов, ядовитого оксида свинца. Тепловые станции, работающие на угле, загрязняют атмосферу оксидами азота и серы, которые с атмосферной влагой дают азотную и серную кислоты. Доменное производство «выдыхает» сернистый газ, соединения сурьмы, свинца, мышьяка, пары ртути. Еще больше тяжелых токсичных металлов поступает в воздух от предприятий цветной металлургии. Химическая промышленность - активный загрязнитель оксидами углерода, азота, серы, аммиаком, хлористыми и фтористыми соединениями, сероводородом, углеводородами. Подобные источники загрязнения обычно локализованы, но для проживающих здесь людей это лишь усугубляет ситуацию. В промышленных районах и городах стремление к комфорту (автотранспорт) неизбежно сопровождается загрязнением атмосферы.

Загрязнения связаны и с сельским хозяйством: производство минеральных удобрений, обработка пестицидами, в особенности с воздухом, отходы животноводства.

С прошлого века начался новый этап в эволюции атмосферы. Краткость этого этапа по сравнению с геологическим масштабом времени и огромные объемы газов не привели до настоящего времени к резким переменам. В сложных природных системах за миллионы лет создаются тонко сбалансированные механизмы регуляции. Однако есть некоторые уязвимые точки, например озоновый экран или радиационные пояса планеты.

Водяной пар и углекислый газ снижают потери тепловой радиации. Изучение антарктического льда, аккумулярованного 15-20 тыс. лет назад, с остатками древней атмосферы эпохи максимального поледнения показало, что концентрация CO_2 составляла 0,016-0,020 %. Это концентрация близка к состоянию сплошного поледнения Земли. Увеличение содержания CO_2 на 30% по сравнению с современным приведет к установлению полностью безледного режи-

ма. В последние 22 года (1958-1980), по данным наблюдательной станции на Гавайских островах, отчетливо выражена общая тенденция к повышению CO_2 в атмосфере.

Азота в атмосфере очень много ($3,9 \cdot 10^{15}$ т), но промышленная добыча азота уже сейчас превышает биологическую фиксацию.

Техногенез сопровождается ростом потребления кислорода: сжигание топлива, окисление металлов и почв ($9 \cdot 10^9$ т O_2 в год). Фотосинтез подавляется в связи с уничтожением лесов, опустыниванием, загрязнением океана.

Техногенез обогащает атмосферу соединениями, ранее здесь не существовавшими. Оксид азота, образующийся при полете реактивных самолетов, разрушает экран. Впрочем, результаты техногенных воздействий на озоновый экран остаются невыясненными.

Итак, уменьшается количество кислорода и озона, возрастает содержание CO_2 , CO , CH_4 , аэрозолей, пыли. Нынешнее состояние биосферы неустойчиво, оно может нарушить отрегулированную за многие миллионы лет биогенную атмосферу.

Техногенез и гидросфера.

Основной водообмен идет между атмосферой и мировым океаном. Очень медленно обмен воды происходит между гидросферой и литосферой. Подземные воды в зонах устойчивых прогибов земной коры могут опускаться, породы на глубине обезвоживаются. Высокая устойчивость химического состава вод океана в значительной степени связана с литосферной регуляцией. Развитие жизни увеличило в океане содержание кислорода, натрия, сульфатов, снизило количество водорода, аммония, железа, марганца, алюминия и др. Под влиянием техногенеза химический состав океана меняется в обратном направлении (ускоренное поступление металлов и их соединений, большого количества углеводородов, в частности нефти). По сравнению с объемом океана поступления техногенных веществ ничтожны, но для геологических масштабов времени растут очень быстро. Если бы поступление в океан нефти нынешними темпами шло в фанерозое, то за прошедшие 600 млн лет в воде оказалась бы около 10 % нефти.

В помощью опреснителей из морей получают воду, пригодную для питья. Из морской воды добывают Mg, K, Na, Cl, Br, ставится вопрос об извлечении U и других элементов. Роль океана как источника минерального сырья растет с каждым днем. Уже более ¼ мировой добычи нефти получают за счет бурения на шельфе. Прибрежно-морские россыпи содержат алмазы, золото, рутил, циркон, янтарь и др. Разработаны методы добычи железомарганцевых конкреций. Поставлен вопрос об извлечении из металлоносных растворов рифтовых впадин

тяжелых металлов. Пленка нефти затрудняет поступление кислорода в воду, снижает испарение. Это грозит нарушением круговорота воды, снижением биологической продуктивности океана. Съемки из космоса показали, что 30 % поверхности океана содержит нефтепродукты. Нефтяное загрязнение грозит рыболовству и птицам, образуются «черные приливы», на дне возникают подводные пустыни. Обогащение прибрежных вод Флориды отбросами, содержащими Co, P и Ni, привело к быстрому размножению микроорганизмов, выделивших в воду ядовитые продукты обмена. «Нашествие» микробов, погубивших рыбу, продолжалось полгода. Аналогичные явления наблюдались и у берегов Калифорнии, где размножающиеся организмы привели к гибели миллионов рыб. Устрицами, зараженными токсинами, отравились сотни потребителей.

Мобильные воды суши обычно мало минерализованы. Современное изменение их состава направлено против жизни; в речной воде накапливаются токсичные металлы, нитраты, нитриты, углеводороды, техногенные жиры и кислоты. Загрязнение изменяет биологический круговорот: в реках и озерах исчезает рыба, вода становится непригодной для питья. Некоторые реки превратились в грязесточные каналы.

в связи со строительством ГЭС снизилась проточность речных вод, возникают застойные зоны. Заоплодение плодородных пойм обогатило почву биофильными элементами. В результате вода стала цвести, бурно развились водоросли. Избыток водорослей загрязняет водоемы, в разложение их остатков уменьшает содержание в воде кислорода, обогащает ее гнилостными продуктами, вредит рыбе, делает воду непригодной для питья. Борьба с водорослями затруднена в связи с их исключительной устойчивостью (они могут развиваться в воде урановых котлов атомных реакторов, в эпицентре ядерного взрыва вскоре после испытаний, переносят силу тока в 10 А и напряжение в 20-30 кВт). Удобрения, поступающие из почв, вызывают эвтрофикацию водоемов.

Особенно значительно меняются пресные наземные и грунтовые воды, а также почвенная влага. Они преобразуются не только по составу, но и значительно перераспределяются. На 15 % возросли ресурсы устойчивого стока рек из-за уменьшения лесов, роста городов (в Москве слой поверхностного стока воды в 3,6 раза выше, чем в естественных условиях), искусственного водообмена, осушения болот. Орошение уменьшает площади бессточных водоемов (Аральское море).

Конечно, воды сейчас не только загрязняются, но и очищаются. Создается мощный искусственный круговорот воды. Однако полной

очистки воды после использования человеком все же нет, содержащиеся в ней примеси концентрируются живыми организмами.

Техногенез и криосфера.

Настоящее время относится к стадии деградации последнего крупного оледенения в Северном полушарии. Техногенные перестройки криосферы имеют локальный и глобальный характер. Деградацию вечной мерзлоты вызывают строительство городов и промышленных поселков, устройство водохранилищ. Деградация сопровождается общим опусканием поверхности на обширных территориях, заболачиванием, эрозией земель, термокарстовыми явлениями. На морские льды

в ледники оказывают большое влияние оседающие на их поверхности техногенные пыль и гели, концентрирующие солнечную энергию. Процесс деградации криосферы может перейти в режим ускоренного саморазвития. Уменьшение площади льдов уменьшит альбедо территории, увеличит температуру наземных вод и приземного воздуха, что вызовет дальнейшее таяние льдов. Талые воды поднимут уровень мирового океана сначала на метры, а потом и на десятки метров. Затопятся обширные плодородные низменности, увеличение влажности атмосферы усугубит последствия этих «потопов».

Техногенез и земная кора. Преобразование земной коры происходит главным образом при добыче и переработке минеральных ресурсов, инженерно-геологической деятельности. Человек изменяет литогенез и качественно и количественно. В настоящее время перемещается приблизительно более $2-3 \cdot 10^{11}$ т в год минерального вещества. При таких темпах всю земную кору можно было бы обновить за 40-50 млн лет, а для воссоздания всего осадочного слоя ($2 \cdot 10^{18}$ т) понадобилось бы вдесятеро меньше времени. Выплавка различных металлов из руд требует больших энергетических затрат. Многие техногенные синтезы идут против природных законов, создаются вещества не встречаемые в природе (чистый алюминий, сверхчистые соединения, различные сплавы). Затрачивается много энергии на образование сложных соединений (синтетические материалы, бетон) из простых. По приближенным расчетам масса всех технических систем (машины, заводы, фабрики и используемые ими вещества) в десятки раз превышает массу живого вещества планеты, а общая продукция техногенеза примерно соответствует биопродукции естественных экосистем. Однако надо помнить, что вся она создается за счет солнечной энергии былых биосфер. По некоторым оценкам человек расходует энергию примерно в десять раз быстрее, чем она аккумулируется с биогенными осадками.

Месторождения полезных ископаемых создаются тысячи и миллионы лет, это одна из форм утилизации солнечной энергии. Часть этой энергии заключается в новых техногенных энергоемких материалах, но большая часть рассеивается в окружающем пространстве. Активность техногенной миграции химических элементов уже превысила активность природной. Человеку еще удивительно мало известно о том, что происходит с техногенными продуктами, как долго они сохраняются и какие превращения испытывают. Только зная глобальный кругооборот веществ можно прогнозировать развитие окружающей среды.

Техногенез и педосфера.

Современное состояние почвенного покрова внушает большую тревогу. Наблюдаются значительные потери продуктивных пастбищ и пашни вследствие распространения водной эрозии, пыльных бурь, вторичного засоления и заболачивания, отчуждения земель под строения, населенные пункты, аэропорты, склады, дороги, шахты, нефте-промыслы и т. п. Общие ежегодные потери земель в мире составляют 15 млн га. В числе этих потерь освоенные продуктивные земли составляют 60-70 %. Это частично компенсируется площадями нового освоения земель и пастбищных угодий, которые по уровню плодородия часто ниже ранее освоенных и отчужденных угодий. В этом одна из причин низких урожаев, малой эффективности удобрений и орошения во многих странах мира. Потери продукции ввиду этих причин составляют не менее 20-25 %, а иногда 40-60 %.

Резко снижают продуктивность почв внешне малозаметные явления, такие как потери гумуса – дегумификация, вторичная кислотность

в высокая щелочность, переуплотненность пахотного и корнеобитаемого горизонтов тяжелыми машинами, длительное господство моно-культуры, загрязнение токсичными соединениями, стерилизация и ослабление биохимической активности почв. В различных географических условиях формируются различные почвы, культивируются различные растения - все они неодинаково реагируют на отмеченные отрицательные явления.

Аридизация и опустынивание суши сказываются не только на плодородии почв (засухи, пыльные бури, засоленность, щелочность). Уменьшаются ресурсы речных, озерных и подземных вод. Воды становятся

более минерализованными. Это уменьшает эффективность орошения и усиливает процессы засоления почв. Безудержная вырубка лесов северного и южного полушарий сопровождается потерей плодородного слоя почвы на склонах и в горах, восстановить который порой невозможно. В минуту на Земле вырубается до 20 га лесов, а за один

год площадь вырубленных лесов приближается к площади Великобритании.

Сжигание каменного угля, нефти, газа сопровождается поступлением в атмосферу, а затем и в почвы токсичных соединений (Hg, Pb, Cd, Cu, оксиды серы, азота, полициклические ароматические соединения и др.). Выпадение кислотных атмосферных осадков уже отрицательно сказывается на продуктивности почв Скандинавии, северо-восточной Америки и других регионов. Почвы интенсивно загрязняются избытком удобрений, многочисленными химическими препаратами. Здоровье человека, болезни, скрытые мутации в значительной мере зависят от присутствия, концентрации, соотношения и взаимодействия техногенных соединений с почвами, почвенными организмами и растениями.

Почвенный покров вместе с растительным покровом играет огромную роль в сохранении нормального режима биосферы, качества воздуха, воды, пищи, здоровья населения. Почвы вместе с растениями участвуют в производстве ценнейшей и необходимой для человека биопродукции, аккумулируют и распределяют космическую энергию, обеспечивают оптимальный баланс кислорода в атмосфере и являются экраном, удерживающим в биосфере важнейшие биофильные элементы от геохимического стока в Мировой океан. Почвенный покров играет роль универсального биологического поглотителя и нейтрализатора многих загрязнений.

Техногенез и климат.

Главнейший фактор климата - первичное распределение солнечной энергии, достигающей земной поверхности. На него накладываются вторичные - динамика атмосферы и Мирового океана, зависящая от взаимной конфигурации суши и моря, рельефа континентов, вращения планеты. Растительный покров, в особенности многоярусный, содействует максимальному использованию лучистой энергии. Имеет значение и увлажненность растений и почв: вода - прекрасный аккумулятор тепла. У опустыненных техногенных территорий увеличивается отражающая способность - альbedo. Сильное отражение солнечных лучей в Сахаре и других пустынях охлаждает верхние слои тропосферы. Возникают восходящие потоки воздуха, вызывающие засухи. Сильно нагретые слои поступают вверх, но они не несут влагу, которой нет в почве, растениях, грунтах этих территорий. Нет конденсации влаги, нет и осадков. Увеличение прозрачности воздуха усиливает солнечную радиацию и иссушение поверхности. В глинистых и каменистых пустынях альbedo может быть ниже, чем на лугу или в лесу. Но пустынные земли переводят солнечную энергию лишь в тепло и

быстро отдают его ночью. С ростом опустыненных земель начинают меняться климатические характеристики, т.е. процесс идет с саморазвитием. Быстро расширяется пустыня Сахара, только с 1958 по 1975 г.

в граница продвинулась к югу на 200 км. Так намечается вполне закономерный путь изменений от отдельных очагов опустыненных ландшафтов к ухудшению микроклимата, расширению и слиянию первичных очагов в крупные территории, затем к сдвигам климата в сторону засушливости во всем регионе, к формированию крупных пустынь.

До середины нашего века нелегко было обосновать идею техногенных перемен климата. С развитием кибернетики и вычислительной техники стали разрабатываться кибернетические модели глобальной системы климатов. Английские климатологи сделали прогноз изменений природных условий Сахары при условии, что треть территории пустыни будет покрыта лесами. Ответ ЭВМ был примечателен: в Сахаре начнется эпоха повышенной увлажненности, даже появятся обширные болота. Как не вспомнить, что несколько тысячелетий назад в Сахаре обитали крокодилы и бегемоты.

На протяжении многих миллионов лет преобладала тенденция к уменьшению концентрации CO₂, вероятно, при отсутствии воздействия хозяйственной деятельности человека на климат количество углекислого газа в будущем продолжало бы уменьшаться. За время порядка нескольких миллионов лет

возможно было бы полное оледенение планеты, что означало бы прекращение всех биологических процессов на планете (Будыко, 1981). В Солнечной системе существуют такие полностью оледенелые планеты, наиболее известен спутник Юпитера Европа.

Теплые климаты прошлой планеты объяснялись повышенным содержанием CO_2 в атмосфере. Впервые заключение о неизбежности значительного изменения глобального климата в результате сжигания все возрастающего количества углеродного топлива было высказано в начале нашего столетия С. Аррениусом. С. Аррениус считал, что океан поглощает не весь углекислый газ, образуемый в процессе хозяйственной деятельности, в результате чего происходит повышение концентрации CO_2 в атмосфере. По его мнению, удвоение концентрации углекислого газа должно привести к повышению средней температуры нижнего слоя воздуха на 4°C , что не очень сильно отличается от принятой сейчас оценки этой величины.

в начале 60-х гг. появились первые материалы наблюдений, показывающие повышение массы углекислого газа, скорость накопления была одинакова на станциях, удаленных на большие расстояния: Га-

вайские острова, Аляска, Южный полюс и др. Климатические условия ближайших десятилетий будут в основном зависеть от антропогенного роста концентрации углекислого газа в атмосфере. Считают, что антропогенное потепление климата будет сильнее выражено в средних и особенно в высоких широтах по сравнению с низкими. Так появляется проблема режима морских полярных льдов, сокращения их площади и уменьшения толщи. При повышении температуры на $4,4^\circ \text{C}$ льды в Северном полушарии почти полностью исчезают. Из палеоклиматических данных следует, что арктические льды образовались в конце плейстоцена, когда средняя температура воздуха была ниже современной на $2-3^\circ \text{C}$. Тогда обусловленное человеком потепление будет соответствовать восстановлению климатических условий, которые, возможно, существовали во второй половине третичного периода (Будыко, 1981). Произойдет изменение положения географических зон. Избыточно влажные и влажные климатические области будут перемещаться в более высокие широты. На большей части территории континентов увеличится испаряемость и возрастет количество осадков. По-видимому, следует ожидать роста глобальной продуктивности растительности из-за прямого влияния CO_2 на фотосинтез, увеличения сумм осадков на части территории континентов и площади наиболее плодородных зон за счет распространения этих зон в направлении более высоких широт. Уровень Мирового океана в течение последних сотен тысяч лет много раз повышался и понижался в соответствии с развитием наземного оледенения. В эпохи наибольших четвертичных оледенений уровень океана понижался по сравнению с современным более чем на 100 м. В наиболее теплые межледниковые эпохи уровень океана превышал современный на величину до нескольких метров. При полном таянии существующих сейчас ледников уровень океана должен повыситься на

в м. Общая площадь суши сократится на несколько процентов. Повышение будет иметь катастрофические последствия для государств, расположенных на низменностях (Нидерланды), а также для ряда больших прибрежных городов.

В настоящее время Всемирная метеорологическая организация при участии метеорологических служб ряда стран проводит широкие исследования для изучения проблем, включенных во Всемирную климатическую программу. В число этих проблем входят расчет предстоящих изменений климата и оценка влияния этих изменений на биосферу и хозяйственную деятельность человека.

7.3. Экосистемы и война

Для обозначения масштабных разрушений в ходе военных действий используется термин «экоцид». Следует различать военное природопользование и военную дегенерацию: первое вызывает модификацию (изменение) ландшафтов, второе – преимущественно трансформацию (перестройку) и даже трансмутацию (полное уничтожение). Этот вопрос изучен недостаточно. Информация о многом еще закрыта, данных о реакциях экосистем на воздействие факторов военной дегенерации в глобальном, региональном и локальном масштабах явно не хватает, несмотря на продолжительную историю существования концепции ведения военных действий путем разрушения среды обитания.

Тактика «выжженной» земли использовалась еще в древности, например, в войнах Рима и Карфагена. В новейшей истории образцом экологической войны называют войну во Вьетнаме, где с 1965 по 1973 г. было применено 15,5 млн т взрывчатых веществ. Это больше, чем во всех предыдущих войнах, и

эквивалентно 570 атомным бомбам, сброшенным на Хиросиму и Нагасаки. По времени это ежесекундное взрывание 50 кг взрывчатки или 1 атомной бомбы каждые 6 дней.

В результате взрывов во Вьетнаме перемещено 2,5 млрд м³ зем-ли, что в 10 раз больше объема земляных работ при сооружении Суэц-кого канала. Кроме того, на площади 1,2 млн га было распылено 45 млн л дефолиантов, что вызвало массовую гибель флоры, фауны и на-селения. Уничтожение многих тысяч гектаров леса с почвой огромны-ми бульдозерами привело к превращению территории в «зеленую пустыню», поросшую сорняком имерата. Были сведены также огромные массивы мангровых и влажных тропических лесов, объем уничтожен-ной древесины оценивается в 50 млн м³. 30 млн воронок глубиной 6-в обезобразили поверхность, вызвали эрозию, оползни, нарушили сток, гидрогеологический режим поверхности. Срок восстановления лесных массивов определен американскими экологами в 100-120 лет.

Инженерная подготовка европейских театров военных действий в первую и вторую мировые войны потребовала выемки и перемещения нескольких миллиардов кубометров грунта. Если первая мировая война велась на территории 200 тыс. км², то вторая как минимум на поря-док больше. Сотнями тысяч километров исчисляется протяженность траншей, ходов сообщений, противотанковых рвов, десятками миллионов число окопов, блиндажей и воронок от бомб, снарядов и мин. Производимое войнами изменение горных пород путем их дробления, деформирования, перемещения, приводящее к образованию искусственных грунтов, а также сопровождающая этот процесс трансформа-

ция других компонентов и элементов экосистем по своим действиям может превышать геологические изменения, происходящие при земле-трясениях, наводнениях, извержениях вулканов.

По территориальным параметрам войн имеются и другие, гораздо большие цифры, чем приведены выше: первая мировая война захвати-ла 4,1 млн км², вторая – 22,6. Поэтому закономерно выделение класса беллигеративных (военных) антропогенных ландшафтов.

Войны угрожают существованию человеческой цивилизации. Наибольшую опасность представляет ядерное оружие из-за масштабов

особенностей его воздействия и другие виды оружия массового по-ражения – химическое и биологическое. Не менее губительно широкое использование обычных вооружений, способных вызвать нарушение равновесия в планетарном масштабе.

Не трудно представить экологические последствия военных дей-ствий с применением современных средств поражения и других кон-тингентов войск, оснащенных гусеничной, колесной и другой боевой техникой. При нанесении мощных огневых ударов, в т. ч. и по эколо-гически опасным объектам, противоборствующим сторонам не до со-блюдения норм экологической безопасности.

Ядерное оружие породило немалое количество серьезных про-блем мирового масштаба – экологических, экономических, политиче-ских, социальных и нравственных. Часть из них связана с историей его создания и использования, часть – с распространением и сохранением. 20 век действительно стал «атомным». Развитие ядерно и радиационно опасных производств для военных целей, испытания ядерного оружия

развитие мировой ядерной энергетики привело к значительному ра-диоактивному загрязнению природной среды. Многочисленные меди-ко-биологические исследования, проведенные в регионах, подверг-шихся радиоактивному загрязнению, однозначно говорят об отрица-тельном влиянии радиации, в том числе малых доз, растянутых во времени, как на генетический аппарат наследственных и соматических клеток, так и на иммунную систему организма в целом, что приводит к генетическим изменениям в потомстве, наследственным, раковым за-болеваниям и общему ухудшению состояния здоровья населения, уве-личению количества и тяжести общих заболеваний, не связанных с радиацией напрямую.

В России печальное лидерство по объему радиоактивных ядер-ных отходов: объем отходов - 880 млн м³ активностью 8,5 млрд Ки, мест размещения - более 1000. Отработанного ядерного топлива нако-плено 8700 т с активностью 4,65 млрд Ки, мест размещения - около 100. Чтобы представить положение в мире, следует эти показатели

увеличить в 4-5 раз. С отработанным ядерным топливом неразрывно связана проблема плутония, создающего угрозу безопасности биосфе-ре и населению, ядерного терроризма, крупных экономических

потерь. Приведем несколько примеров, показывающих сложность проблем, связанных с радиоактивными отходами и плутонием.

С течением 1991-1994 гг. на производственном объединении «Ма-як» переработка отходов ядерного топлива из Венгрии, Финляндии, Болгарии, Германии, Ирана и Украины привела к сбросу в оз. Кара-чай, остекловыванию и хранению в специальных хранилищах отходов активностью около 55 млн Ки. Планы возвращения этих отходов назад отсутствуют, а сброс радиоактивных отходов в открытые водоемы нарушает законодательство РФ.

Япония, страна с очень «амбициозной» плутониевой программой, на практике столкнулась с такими техническими сложностями, что с учетом экологических, экономических и политических трудностей ставится вопрос не только об отказе от этой программы, но и о пере-смотре Долгосрочной программы по ядерной энергетике в целом.

Проект Яка Маутин – сооружение первого в США постоянного захоронения ядерных отходов высокого уровня активности. Именно с ним связывалось решение проблемы хранения 50 тыс. т ядерных отходов. Истрчено более 4,7 млрд долларов. Практический вывод на сегодня таков: гора Яка непригодна для размещения ядерных отходов высокого уровня радиоактивности, и шансы Департамента энергетики на получение лицензии на строительство хранилища очень невысоки.

История создания химического оружия имеет около 150 лет. В 20 из 70 наиболее интенсивных конфликтов и войн XX в. использовались отравляющие вещества. В первую мировую войну использовано 125 тыс. т, пострадало в Западной Европе более 1 млн человек. Италия использовала химическое оружие против Эфиопии, Япония против Китая. 90 тыс. т отравляющих веществ израсходовано во время войны

- Индокитае (поражена площадь 17 тыс. км², в том числе уничтожено 1510 км² мангровых лесов, пострадало 1,5 млн человек). Для ликвидации современных запасов химического оружия необходимо решить множество технических, общественно-политических и экологических проблем. В России часть химического оружия затоплена, часть сожжена, часть зарыта неизвестно где – называют болота Томской области, Пензенскую область, Семипалатинский полигон, Прибалхашье в Казахстане и др. Расходы США на уничтожение 31400 т отравляющих веществ оценены в 10-15 млрд долларов. Американцы все еще не могут избавиться от 90 млн л напалма, хранящегося в Калифорнии, – он использовался в войне в Индокитае. Сложнейшая проблема – уничто-

жение запасов химического оружия экологически безопасным способом. В России практически все места хранения отравляющих веществ расположены вблизи городов и крупных населенных пунктов. В радиусе 100 км вокруг них проживает 100 млн человек.

Экономика милитаризованной страны тяжело больна. Ядерный щит и прочие оружейные доспехи буквально раздавили богатейшую ресурсами державу – СССР. В 1990 г. расходы на оборону составили 70,2 млрд р., в 1991 г. на оборону ушло 96,5 млрд р., или 35 % бюджета. В США в это время Центральное финансово-контрольное управление назвало свое Министерство обороны «самым крупным производителем отходов». В 1991 г. Пентагон объявил, что им будет затрачено 9,6 млрд долларов на обеззараживание загрязненных по его вине источников питьевой воды, на устранение радиоактивного загрязнения и на модернизацию оборудования по контролю над состоянием природной среды. В СССР роль военных в загрязнении окружающей среды была засекречена не меньше, чем программа разработки вооружений. России предстоит решать технически очень сложные и затратные задачи уничтожения ядерных, химических и обычных вооружений в соответствии с международными обязательствами. После сокращения армии в различных регионах освобождающиеся площади находятся в неудовлетворительном состоянии. Если в РФ подобные вопросы обсуждаются «келейно» и не очень афишируются, то об ущербе, нанесенном Советской Армией другим странам, говорят открыто. Так, Литва оценила ущерб от пребывания советских и российских войск за полвека в 80 млрд долларов, в том числе экологический – в 1,74 млрд. В Эстонии загрязнены десятки тысяч гектар территории и акваторий, переработано 4 млрд т урановой руды, накоплено более 6 млн т отходов добычи горючих сланцев. Очистка территории и ее рекультивация требуют 5 млрд долларов. В Эстонии было 2 ракетных базы, учебный реакторный центр военно-морского флота, здесь проходили учебные бомбардировки островов, однажды военный самолет рухнул в 200 м от ядерного реактора.

Обеззараживание земель от радионуклидов на объектах США, где производилась наработка расщепляющихся материалов и ядерного оружия, обойдется от 230 до 350 млрд долларов и потребует 75 лет. Полная же реабилитация окружающей среды, по экспертным оценкам Министерства энергетики США, обойдется в 1000 млрд долларов. Очистные работы на артиллерийском полигоне в штате Индиана, в случае его закрытия, потребуют затрат на сумму 550 млрд долларов. В России подобных загрязнений не меньше, а средств практически нет. Так, в связи с реализацией Договора по стратегическим наступатель-

ным вооружениям до 2003 г. Россия вынуждена ликвидировать 600-700 межконтинентальных баллистических ракет, более 40 подводных атомных крейсеров, 15-18 тысяч стратегических и тактических ядерных боеголовок. Стоимость демонтажа одной боеголовки составляет 10-15 тыс. долларов, атомной подлодки – 6-7 млн долларов.

10 тысяч участков на военных объектах США в настоящее время заражены военными отходами и не могут использоваться для учебно-военной подготовки. На обеззараживание этих территорий ежегодно расходуется более 2 млрд долларов - около половины средств, выделяемых Пентагону на экологические мероприятия. С 1986 по 1992 г. Министерство обороны США вдвое сократило выброс вредных отходов на своих объектах. При конструировании новых видов американских вооружений особое внимание уделяется экологическому аспекту,

В частности, перед разработчиками ставится задача свести к минимуму использование в создаваемых ими моделях вредных материалов. Армия США интегрируется в природоохранную деятельность государства, имея в виду развитие и выполнение эффективных мер защиты и поддержки окружающей среды, охрану здоровья военнослужащих. В ее планах - охрана 150 видов редких животных и растений в 100 местностях, защита 20000 миль² земель.

Война в зоне Персидского залива доказала возможность возникновения новых поражающих факторов (пожары на нефтеразработках, выброс в атмосферу аэрозольных частиц, разрушение экосистем региона). Военные технологии продолжают обновляться, и этот процесс почти неподконтролен обществу. Военно-технический «прогресс» не сопровождается адекватным научно-экологическим анализом и обеспечением экологической безопасности. Отсутствие государственного политического (гражданского) контроля над армией не дает возможности требовать, чтобы военные руководствовались здравым смыслом. В нашей стране проблема гражданского контроля над военной политикой и процессами разоружения находится лишь в стадии обсуждения. Становление военно-экологической концепции в России началось в 1992-1993 гг. Это вызвано общими проблемами экологизации и гуманизации, рассекречиванием и обсуждением экологических проблем в

СССР, гласностью в вопросах, связанных с Чернобылем, ядерными испытаниями, химическим оружием, захоронением радиоактивных отходов в морях и т.д. Ставится вопрос о военно-экологическом планировании, имеющем целью минимизацию экологических ущербов, экологических параметров военного строительства, экологическом обеспечении военной реформы в широком смысле. В 1993-1994 гг. планировалось сформировать экологические службы в видах Воору-

женных Сил, военных округах, в группах и родах войск, армиях, флотилиях с включением в их состав экологических лабораторий, всего 1500 человек (тем самым Россия почти догнала бы Норвегию, где экологические подразделения имеют численность 1700 человек, правда, армия там в сотни раз меньше, как меньше и экологических проблем).

и 1995-1996 гг. планировалось сформировать в округах, флотах, видах Вооруженных Сил на контрактной основе специализированные экологические подразделения для очистки и восстановления природной среды.

Фундаментальной проблемой недалекого будущего станет защита государства от возможных экологических воздействий. Уже ставится вопрос об «экологической» и «геофизической» агрессии, в том числе от ближайших соседей, за которыми кроются вполне реальные политические и военные конфликты. Исходя из структуры природных средств определены следующие разновидности геофизического оружия и формы его воздействия.

Метеорологическое оружие – воздействие на атмосферные процессы; использование атмосферных течений для переноса радиоактивных, химических и бактериологических веществ; создание устойчивых радиационных поясов; организация пожаров и «огненных бурь»; разрушение слоя озона; изменение газового состава в локальных объемах; воздействие на атмосферное электричество.

Гидросферное оружие – изменение химических, физических и электрических свойств океана; создание приливных волн типа цунами; загрязнение, заражение внутренних вод; разрушение гидротехнических сооружений и создание наводнений; воздействие на тайфуны; инициирование склоновых процессов.

Литосферное оружие – инициирование землетрясений, стимулирование извержений вулканов.

Климатическое оружие – изменение температурного режима и климата в определенных районах; разрушение подстилающей поверхности (почвенного и растительного покрова).

то же время дальнейшее развитие получает теория военных экосистем. Под военной экосистемой следует понимать замкнутое единство личного состава, жизненного цикла вооружений и военной техники, а также окружающей природной среды, характеризующейся определенной стабильностью и обладающей четко функционирующим внутренним круговоротом материальных средств, энергии и информации (Булатов, 1999). Главным отличительным признаком военной экосистемы является выполнение задач военной подготовки при разумном ограничении допустимого ущерба среде обитания. Теоретическое по-

нятие «военная экосистема» должно со временем наполниться конкретным смыслом и найти практическое воплощение.

Адекватным выражением закономерной тенденции несоответствия усилий и результатов военно-политической деятельности, когда государства добиваются одного, а получают другое, является *принцип иронии истории*. Примеры – войны во Вьетнаме, Афганистане, Персидском заливе, Чечне, «успех» которых состоит преимущественно в разрушении экосистем.

7.4. Концепция коэволюции человека и биосферы

Последствия нарушений циклической структуры биологического круговорота. В настоящее время трудно предсказать дальнейший ход эволюции биосферы. Человек, выросший в голоценовой биосфере, может поддерживать нормальную жизнедеятельность, если только будут сохранены главные параметры этой системы, ее основные черты

8. видовой состав. Крах голоценовой биосферы ведет ко многим неблагоприятным последствиям. Лучше сохранить биосферу такой, какой она нужна человеку, чем приспосабливаться к меняющейся биосфере.

Биосфера до поры до времени работала в рамках принципа Ле Шателье - Брауна: при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого равновесия, равновесие смещается в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабляется. Для биосферы этот принцип сформулирован П. Дансеро в виде *закона обратимости биосферы*: биосфера стремится к восстановлению экологического равновесия тем сильнее, чем больше давление на нее; это стремление продолжается до достижения экосистемами климаксовых фаз развития. Однако Дансеро тогда же сформулировал *закон необ-*

ратимости взаимодействия человек - биосфера: возобновимые при-

родные ресурсы делаются невозобновимыми в случае глубокого изменения среды, значительной переэксплуатации, доходящей до поголовного уничтожения или крайнего истощения, а потому до превышения возможностей их восстановления. Именно такова фаза развития системы взаимоотношений человек - природа в наши дни.

Цель всех экологических исследований заключается в поиске путей обеспечения нормальных условий жизни людей настоящего и будущего поколений. Если считать, что изменения окружающей среды вызываются главным образом неправильным ведением хозяйства, то экологическая проблема превратится в проблему выяснения возможностей организации хозяйства, не изменяющего окружающую среду.

Вопросы охраны природы и сохранения диких видов животных для человека в этом случае будут иметь второстепенное значение, связанное в основном с удовлетворением эстетических вкусов человека. Сохранение уникального фонда диких животных в естественных условиях, а также в резерватах, зоопарках и генных банках приобретет чисто прикладное хозяйственное значение, не имеющее никакого отношения

экологической проблеме охраны окружающей среды. Природное разнообразие в плане этой стратегии рассматривается как генетический резерв, который может быть использован при дальнейшем развитии биотехнологии и генной инженерии. Заповедники, расположенные на ничтожных по площади территориях, будут служить памятниками природы, пригодными для их исследования лишь узкими специалистами. По-видимому, многие дикие виды могут выжить лишь при условии изъятия из хозяйственной деятельности не менее 30% обитаемой поверхности суши. Однако в рассматриваемом случае человек, безусловно, не пойдет на такую меру и соответствующие виды неизбежно вымрут, не вызвав особого беспокойства.

Общее количество организмов биосферы, в основном одноклеточных, имеет порядок 10^{28} . На каждом квадратном микрометре земной поверхности функционирует десяток живых организмов, регулирующих параметры среды обитания. Каждая клетка этих организмов перерабатывает потоки информации об окружающей среде в количестве, сопоставимом с потоками информации в современных персональных компьютерах. Невозможно заменить работу этого количества живых организмов или улучшить биогенную регуляцию техническими средствами. Главной экологической задачей человечества должно считаться не сокращение техногенных загрязняющих выбросов, а сохранение всего разнообразия живых организмов биосферы, образующих циклическую структуру биологического круговорота веществ. Исходя из этой стратегии взаимодействия человека с природой сохранение естественных сообществ всех диких видов живых организмов и нахождение допустимого порога возмущений биосферы станут главной экологической проблемой современности (Горшков и др., 1999).

Уничтожение групп организмов создает опасность разрушения циклической структуры биологического круговорота и последующего изменения химических и физико-химических параметров биосферы. Окружающая среда характеризуется концентрациями химических элементов, потребляемых живыми организмами. Для организмов, разлагающих химические вещества (бактерии, грибы, животные), важны величины концентраций органических веществ и кислорода в почве, воде, воздухе; для синтезирующих органические вещества - величины

концентраций углекислого газа, определенных химических соединений азота, фосфора и других элементов, входящих в состав тел животных организмов. По В. Г. Горшкову, концентрации этих соединений сформированы самой биотой и поддерживаются ею на оптимальном уровне. Концентрации биофильных элементов могут меняться за счет геохимических процессов на величины порядка 100% за времена порядка 100 тысяч лет. За время существования жизни, длящееся миллиарды лет, концентрация всех этих элементов должна была измениться на несколько порядков величины, приняв значения, при которых жизнь невозможна. Поэтому живые организмы используют вещества, концентрации которых могут регулироваться биологически. Более того, биологически регулируемые процессы и концентрации веществ определяют приемлемые для жизни значения таких характеристик, как температура, спектральный состав доходящего до поверхности солнечного излучения, режим испарения и водных осадков на суше.

Естественно живое вещество не может изменять поток солнечной радиации за пределами атмосферы, скорость вращения Земли, величину приливов и отливов, рельеф местности и вулканическую деятельность. Однако неблагоприятные изменения этих характеристик биота может компенсировать путем направленного изменения управляемых ею концентраций биофильных элементов.

Воздействие живого вещества на среду сводится к синтезу органических веществ из неорганических, разложению органических веществ на неорганические составляющие и, соответственно, к изменению соотношения между запасами органических и неорганических веществ в биосфере. В среднем при синтезе 1 г органического углерода поглощается 42 кДж. Продукция или деструкция 1 т органического углерода в год соответствует поглощению или выделению энергии мощностью 1,3 кВт.

Избыток CO_2 может быть переведен в относительно мало активные органические соединения. Наоборот, недостаток может быть пополнен за счет разложения гумуса почв, торфа, растворенного органического вещества (в них 90% органического вещества биосферы). С помощью этих запасов органики, по-видимому, поддерживается постоянная концентрация CO_2 и O_2 в атмосфере и океане.

Концентрации всех растворенных неорганических биофильных элементов в океане меняются в несколько раз от поверхности до глубины порядка сотен метров (С, N, P увеличиваются с глубиной, а концентрация O₂ уменьшается). Это связано с тем, что фотосинтез происходит в верхних слоях, а разложение может идти в любых, т.е. синтез и разложение разделены в пространстве. Концентрация CO₂ на глубине в

несколько раз выше, чем на поверхности. Если в современной атмосфере содержится около $2,6 \cdot 10^{12}$ т углекислого газа, то в гидросфере (в основном в водах океана) растворено $130 \cdot 10^{12}$ т углекислого газа. При прекращении жизни концентрации углекислого газа в атмосфере и океане уравниваются. При этом концентрация CO₂ в поверхностных водах и в атмосфере возрастет в несколько раз, так как запас растворенных бикарбонатов в морской воде почти на 2 порядка выше, чем в атмосфере. Это ведет к катастрофическим изменениям парникового эффекта и климата в течение порядка десятков лет. Следовательно, живое вещество океана удерживает атмосферную концентрацию CO₂ и сохраняет приземную атмосферу на приемлемом для жизни уровне.

Запасы органического и неорганического углерода в биосфере совпадают по порядку величины. Отношение этих запасов к продуктивности биоты представляет собой время биологического оборота биогенного запаса биосферы, которое имеет порядок десятков лет. Следовательно, при наличии только синтеза весь углерод будет переведен в органические вещества за десятки лет, а при одном разложении органический углерод биосферы исчезнет за десятки лет. Анализ концентрации CO₂ в пузырьках воздуха льдов Антарктиды и Гренландии показал, что концентрация CO₂ в атмосфере сохранялась постоянной в течение последних несколько тысяч лет. Неорганический углерод выбрасывался в атмосферу за счет процессов дегазации (вулканы, фильтрация из мантии) и откладывался в осадочных породах. Разность между выбросами и отложением положительна, за порядок миллиарда лет запас CO₂ должен был возрасти в десятки тысяч раз, чего не произошло. Компенсирует процесс накопления органического углерода в осадочных породах.

Количество O₂ в биосфере на 3 порядка превосходит количество O₂, необходимое для разложения всего органического углерода биосферы. Захоронение органического углерода в породах обеспечивает постоянство концентраций CO₂ и O₂ в биосфере.

Огромная мощность, развиваемая биотой, таит опасность быстрого разрушения. При отсутствии жизни в биосфере трансформация свойств среды на порядок 100 % может произойти за счет геофизических процессов за сотни тысяч лет. Если же целостность биологического круговорота будет нарушена, то среда может измениться на 100% за десятки лет.

Концепция коэволюции человека и биосферы. Учение о биосфере

и ее эволюции разрабатывалось преимущественно с геохимических позиций. У В. И. Вернадского логическим завершением процесса эволюции биосферы является переход к ноосфере. Учение о ноосфере –

это, в сущности, философское построение. Сколько-нибудь детальных исследований структуры, динамики или хотя бы геохимии ноосферы нет ни в работах Вернадского, ни в трудах современных ученых.

Основное воздействие на биосферу оказывает производственная деятельность, поэтому проблемами глобальной экологии занялись специалисты экономико-математических исследований. С начала 70-х гг. начали появляться модели различной степени детализации, связывающие природные и экономические факторы. Начало было положено работой Дж. Форрестера «Мировая динамика», который предложил общий подход к описанию глобального экологического процесса. Впервые в одну математическую модель были объединены процессы развития экономики, демографии и загрязнения окружающей среды.

Сегодня глобальные модели будущего сменились пессимистической оценкой, стали очевидны их условность, неспособность предсказать реальный ход событий, убожество информационной базы. Общим недостатком этих исследований является использование в расчетах для будущего тех же зависимостей между элементами эколого-экономической системы, которые существуют в настоящее время. Но система изменяется и качественно, быстро решаются проблемы, которые казались неосуществимыми (использование атомной энергии, создание космических кораблей). Весьма трудны и демографические расчеты для будущего, неоднократно прогнозы роста численности населения не подтверждались фактическими данными.

Тем не менее, люди стали предполагать возможные катастрофические последствия неконтролируемой, неуправляемой человеческой деятельности. Возник новый термин - **коэволюция человека и при-роды**, сначала в СССР, но независимо стал использоваться в США, Западной Европе. Концепция коэволюции человека и биосферы, с которой первым в нашей стране выступил Н. В. Тимофеев-Ресовский, мыслится как некая золотая середина между двумя крайностями в положении человека в биосфере - покорением ее и смирением перед ней. Коэволюция предполагает своевременное возникновение сопряженных изменений в биосфере и обществе и последующую автоматическую селекцию взаимно адаптивных вариантов. Однако мощь негативного воздействия человека на природу растет столь стремительно, что последняя не успевает адаптироваться к темпам так называемой научно-технической революции. Устойчивую коэволюцию человека и биосферы еще необходимо обеспечить.

В настоящее время концепция коэволюции - одна из наиболее популярных концепций антропогенной эволюции биосферы. Считают, что существование человечества возможно лишь в узком диапазоне

параметров биосферы - области гомеостаза человечества. Коэволюция человека и природы - это такое совместное развитие человеческого общества и биосферы, которое не выводит параметры биосферы из области гомеостаза. Коэволюция человека и природы обеспечивает сохранение человеческого рода как биологического вида и условий для дальнейшего развития цивилизации. Коэволюция потребует, конечно, адаптации биосферы, видоизменения ее характеристик в зависимости от особенностей развития общества. Но одновременно и общество должно адаптироваться к особенностям и возможностям развития биосферы. Спонтанное, неконтролируемое развитие производительных сил и стихия человеческих страстей и желаний должны быть стеснены определенными границами, подчинены обеспечению условий коэволюции.

По Н. Н. Моисееву (1990), рассчитывать на действенность стихийных природных механизмов не приходится. Исследование процесса коэволюции человека и биосферы, выработка требований к поведению человека, необходимых для развития человеческой цивилизации в условиях экологического и энергетического кризисов, ставят перед наукой нетрадиционные задачи. Исходной позицией для анализа проблем коэволюции должно быть глубокое, тщательное изучение взаимосвязей человеческого общества и окружающей среды. Н. Н. Моисеев выделяет следующие аспекты этой проблемы.

Энергетический аспект. Несмотря на рост производительности труда, совершенствование технологии и повышение квалификации, люди создавали все более энергоемкие производства. Основной толчок

В повышению производительности труда дало использование энергии, что наглядно отражено в развитии сельского хозяйства. В XX веке средняя урожайность зерновых в развитых странах возросла втрое. В основе феномена - резкий рост энергоемкости сельского хозяйства. Переход от естественных удобрений к искусственным, замена конной тяги машинной, механизация технологии переработки привели к тому, что затраты энергии на 1 т зерна возросли на 2 порядка. За 1950-1975 гг. израсходовано около половины всего топлива, сожженного за все время существования человечества. Производство энергии удваивается каждые 17-20 лет. При таких темпах через два столетия производство энергии составит 5% от солнечной, а еще через столетие сравняется с ней и станет равнозначным климатообразующим фактором, что повлечет сложнейшие экологические последствия. Производство энергии и количество извлекаемого энергетического топлива шло темпами, намного опережающими развитие других производств. В последнее десятилетие возникли формы деятельности, требующие значи-

тельно меньших затрат. Это производства, основанные на преобразовании информации: микроэлектроника, телематика, робототехника и биотехнология. Уменьшается и энергоемкость традиционных технологий. Темпы развития производства начинают сравниваться с темпами роста добычи энергетического топлива. Следствия этой тенденции начинают проявляться уже сейчас.

Проблема замкнутых технологий, или безотходного производства. Полная безотходность производства - это утопия, противоречащая 2-му началу термодинамики. Безотходности нет и в функционировании биосферы. Земная кора, по сути, - это всепланетный склад отходов. Ежегодно в биосфере образуется 1,5 млрд т "отходов" в виде разнообразных осадочных отложений, формирующихся

при участии живых организмов. Вымершие виды животных и растений тоже являются своеобразными отходами процесса эволюции биосферы. Производства

в полной переработкой сырья в полезную продукцию, с идеальной очисткой воздуха и воды в ходе работы теряют тепло, сталкиваются с проблемой износа оборудования, используют минеральное сырье и занятые под сооружения территории. Все это издержки, отходы производства.

Длительное время человечество вписывалось (или почти вписывалось) в естественные циклы биосферы: практически (во всяком случае, до неолита) оно не прикасалось к кладовым природным источникам энергии, за исключением потери плодородия почв в зоне чрезмерного выпаса скота или орошения, но эти явления носили локальный характер. Начиная с эпохи Возрождения несбалансированность человеческих потребностей, их несоответствие естественным циклам биосферы начали принимать катастрофический характер. В последние столетия производственная деятельность человека стала незамкнутой, она строится на использовании невозобновимых запасов земных недр, т.е. природных ресурсов, и не только энергетических.

Существует угроза истощения минеральных ресурсов. Минералы, горные породы, месторождения полезных ископаемых формируются сотни, тысячи, миллионы лет. Но представления о неизбежном истощении минеральных ресурсов неоспорны. Помимо бережливости приемлемы некоторые технологические методы, уменьшающие угрозу истощения: 1) использование руд с небольшим содержанием компонента; 2) полное использование отходов, содержащих много компонентов; 3) регуляция геохимических циклов, их ускорение и перестройка с созданием техногенных месторождений полезных ископаемых. Третий метод уже применяется в технологиях: так выпаривается поваренная соль, вымораживается мирабилит; существуют геотехно-

логические методы с использованием микробов, накапливающих металлы (медь, уран).

Не хватает в биосфере и возобновимых природных ресурсов, например, пресной воды. Необходимо поддерживать баланс потребностей человека и тех реальных возможностей, которыми располагает планета.

Организационный аспект. Требуется добиваться совершенствования и изменения организационных структур производственной деятельности. Новые технологии делают человека и более зависимым от природы. Элементы комплекса биосфера-человек оказываются все более и более связанными между собой, взаимосвязанными. Требуется создать механизм такой деятельности, которая согласовывала бы усилия людей, направляла их активность. Без этого человек не может выжить. В современной экономической науке существует проблема соизмерения скорости развития производительных сил и изменения экологической обстановки. Возможности обеспечения жизнедеятельности людей ограничены. Новые нагрузки на биосферу необходимо компенсировать путем развития способов ее адаптации к этим нагрузкам и нашими способностями их компенсации. Кроме того, мы должны знать заранее о возможных опасностях, нужны модели прогнозирования. Переход процессов за критические значения может привести к началу необратимых процессов.

На определенной ступени развития человеческой цивилизации люди должны принять на себя ответственность за дальнейший ход эволюции космического тела Земля. В области ноосферы определяющим началом должна быть не стихия естественного развития, а интеллект человека. Развитие человечества должно быть направляемым.

Альтернативные концепции эволюции биосферы. Существуют и другие концепции эволюции биосферы. Сторонники концепции замены биосферы **техносферой** считают, что человек должен взять на себя управление биосферными процессами с целью оптимизации природной среды. Ноосфера Вернадского понимается ими как этап регуляции биосферных процессов в интересах доминирующего биологического вида - человека.

Сегодня масса всех технических систем (не только машины, но и заводы, фабрики, используемое ими вещество) превышает биомассу планеты в десятки раз, а общая продукция техногенеза примерно соответствует биопроизводству экосистем. Следовательно, техногенная миграция преобладает над биогенной и управляет ею. Аналогично зеленым растениям в техногенном веществе выделяет первичные продуценты, своеобразные технические автотрофы, вырабатывающие энергию, до-

бывающие полезные ископаемые, эксплуатирующие биоресурсы. Вто-рой уровень техновещества связан с обработкой первичной техноген-ной продукции (выплавка металлов, синтез техногенных материалов, производство строительных деталей). Следующий уровень предназна-чен для переработки техногенной вторичной продукции (производство средств производства, создание станков). Затем идет получение средств потребления. Имеются технические системы, связанные с пе-редачей, использованием, хранением информации, а также автоном-ные многофункциональные системы (роботы, автоматические меж-планетные станции). В последнее время появляются техносистемы, утилизирующие отходы производства (включающие в новый цикл), уменьшающие загрязнение биосферы. Есть космическая функция тех-нических систем, т.е. активность техновещества даже выше, чем у жи-вого вещества (Баландин, Бондарев, 1988).

Живые организмы организованы на основе сложнейших видов скоррелированности процессов жизнедеятельности. Любые виды скоррелированности поддерживаются за счет конкурентного взаимо-действия в популяции и стабилизирующего отбора. Сообщества жи-вых организмов - сложнейшие виды биологической скоррелированно-сти, возникшие на основе необходимости замкнутости круговорота веществ и стабилизации условий среды. Нет оснований для надежд на построение искусственных сообществ, обеспечивающих стабилизацию окружающей среды с той же точностью, как у естественных сооб-ществ. Нарушив функции живого вещества, человек вынужден будет взять на себя управление биогенными процессами в биосфере, обеспе-чивая как высокую чистоту безотходного производства, так и замкну-тость биологического круговорота в биосфере. Скорее всего, гигант-ская управляющая система (если ее вообще можно создать) потребует таких энергетических затрат, что для развития самой цивилизации и удовлетворения непосредственных нужд человека останется меньше ресурсов, чем имел доиндустриальный человек, живший в биосфере.

Только сохранение разнообразия живых организмов и замкнуто-сти биологического круговорота обеспечит устойчивость параметров биосферы, которые не могут быть восстановлены за счет очистных сооружений и перехода к безотходному производству.

Биосфера, состоящая из живого вещества и взаимодействующей с ним окружающей среды, представляет собой единственную систему, обеспечивающую устойчивость среды обитания человека. Сохранение природных сообществ и существующих видов живых организмов в объеме, обеспечивающем действие принципа Ле Шателье, представля-ет собой главное условие дальнейшего существования человечества.

Нужно сохранить природу на большей части поверхности Земли, а не только в зоопарках, заповедниках, генных банках и т.д.

Существует **концепция возврата человека к автотрофным ме-ханизмам питания** (без использования невозобновимых источников энергии, ядерной энергии) с целью гармоничного существования в биосфере. Потребление крупными животными составляет не более 1 % биопродукции экосистем. На примере круговорота углерода В. Г. Горшков (1995) показал, что нарушение среды человеком нача-лось со времени промышленной революции, когда доля антропогенно-го потребления продукции биосферы превысила 1 %. Оставшаяся до этого времени часть биосферы компенсировала антропогенные возму-щения. Основным путем решения экологических проблем считается уменьшение численности людей путем контроля над рождаемостью.

Крайние сторонники биологического развития общества призы-вают к отказу от технического прогресса , что почти однозначно отказу от благ цивилизации. При современном состоянии численности насе-ления планеты отказ от промышленного механизма ведет к всеобщему голоду и массовому вымиранию человечества.

Есть ученые и мечтатели, которые решение экологических про-блем связывают с освоением человеком космического пространства, в частности с заселением других планет. Это уровень фантастических решений экологических проблем. Если человечество не в состоянии «договориться» со своей родной планетой, то оно не приживется и в чуждой среде.