

*Гениальному русскому ученому-натуралисту
В.И. Вернадскому,
его ученикам и последователям
А.Е. Ферсману и А.И. Перельману,
отечественной школе естествоиспытателей природы*

ПОСВЯЩАЕТСЯ



**Владимир Иванович
Вернадский (1863–1945)**



**Александр Евгеньевич
Ферсман (1883–1945)**



**Александр Ильич
Перельман (1916–1998)**



Председатель

Л.А. ПУЧКОВ

Зам. председателя

Л.Х. ГИТИС

Члены редсовета

И.В. ДЕМЕНТЬЕВ

А.П. ДМИТРИЕВ

Б.А. КАРТОЗИЯ

В.В. КУРЕХИН

М.В. КУРЛЕНЯ

В.И. ОСИПОВ

Э.М. СОКОЛОВ

К.Н. ТРУБЕЦКОЙ

В.В. ХРОНИН

В.А. ЧАНТУРИЯ

Е.Н. ШЕМЯКИН

**ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**ректор МГГУ,
чл.-корр. РАН**

**директор
Издательства МГГУ**

академик РАЕН

академик РАЕН

академик РАЕН

академик РАЕН

академик РАН

академик РАН

академик МАН ВШ

академик РАН

профессор

академик РАН

академик РАН

ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

**А.А. Пучков
А.Е. Воробьев**

ЧЕЛОВЕК И БИОСТЕРА: ВХОЖДЕНИЕ В ТЕХНО СТЕРУ

*Рекомендовано Министерством
образования Российской Феде-
рации в качестве учебника для
студентов высших учебных за-
ведений, обучающихся по нап-
равлению «Горное дело»*



**МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО
УНИВЕРСИТЕТА
2 0 0 0**

УДК 522
ББК 28
П 90

Рецензенты:

проф., докт. геогр. наук *Н.С. Касимов*
(декан географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова);
проф., докт. физ.-мат. наук *С.Г. Харченко*
(Академия государственной службы при Президенте России,
директор Института проблем устойчивого развития)

Учебник базируется на исследованиях, проведенных при поддержке фондов Дж. и К. Мак-Артуров (1994), Дж. Сороса (1995), Президента Российской Федерации (гранты № 96-15-97-109, 00-15-99-400), и Российского фонда фундаментальных исследований (№ 990565238, 1999)

Пучков Л.А., Воробьев А.Е.

П 90 Человек и биосфера: вхождение в техносферу: Учебник для вузов. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2000. — 342 с.
ISBN 5-7418-0086-6 (в пер.)

Изложены основы взаимодействия человеческого общества с биосферой. Представлены структура и параметры атмо-, гидро-, лито- и биосферы. Дана характеристика индустриального и сельскохозяйственного загрязнения биосферы, а также рассмотрено ее нарушение горнопромышленным комплексом. Раскрыт механизм взаимопроникновения сфер Земли, определена роль живого вещества в изменении окружающей среды, объяснены виды миграции химических элементов. Установлены принципиальные направления эволюции биосферы, показаны общие пути ее корректирования и возможного управления. Даны основы вхождения в техносферу.

УДК 522
ББК 28

ISBN 5-7418-0086-6

© Л.А. Пучков, А.Е. Воробьев, 2000
© Издательство МГГУ, 2000

На рубеже тысячелетий классическая наука подошла к определенной границе своих методологических возможностей в объяснении многих процессов окружающего мира.

Одновременно исчезла иллюзия единства человека с Природой, так как нарушился естественный ход эволюции биосферы. ЧЕЛОВЕК на нашей планете стал выступать как одна из самых значительных сил, преобразующих биосферу.

Осознанное (целенаправленное) преобразование возможно лишь на основе концепции развития человечества в биосфере. Стокгольмская конференция ООН по защите окружающей среды, а также Всемирный экологический форум РИО-92 определили стратегию коэволюции человеческого общества и биосферы в современных условиях, наметили пути выхода из экологического кризиса.

Эти решения, а также имеющиеся в настоящее время знания необходимо не только всесторонне развить, но и передать студентам высших учебных заведений.

В результате появилась целесообразность в издании учебника, объединяющего достижения в познаниях о ноосфере, теории эволюции, а также в процессах самоорганизации (синергетики), происходящих в биосфере.

Сегодня горному инженеру уже недостаточно владеть сведениями только об эффективных технологиях получения полезных ископаемых из недр Земли и инженерных методах защиты окружающей среды от негативного воздействия горнопромышленного комплекса.

Человечество стало одной из главных сил, преобразующих биосферу Земли, вследствие этого необходимы знания, позволяющие дать прогнозную оценку происходящим изменениям в среде нашего обитания.

Поэтому для обучения студентов весьма актуально привлечение результатов фундаментальных исследований Российской академии наук, полученных академиками В.И. Вернадским (о биосфере), А.Е. Ферсманом (о техногенезе), Н.П. Лавровым (о радиогеоэкологии), К.Н. Трубецким (о ресурсо-воспроизводстве) и проф. А.И. Перельманом (о геохимии ландшафта).

Наша планета существует уже 4,5 млрд. лет. За этот огромный интервал времени на ее поверхности постоянно протекали сложные физико-химические процессы, возникла жизнь, сформировалась кислородсодержащая атмосфера и развились высокоорганизованные животные и растения.

Эти изменения происходили очень медленно, растягиваясь на сотни миллионов лет, что обеспечивало возникновение процессов саморганизации.

И только с появлением человечества на фоне постепенной эволюции развития жизни биосфера стала претерпевать резкие и зачастую негативные изменения.

По различным прогнозам, к середине XXI века объем мирового производства может возрасти примерно в 5 раз, в результате современные технологии выбросами загрязняющих веществ могут уничтожить человечество и биосферу Земли.

Сегодня на каждого жителя нашей планеты уже приходится около 400 т ежегодно перемещаемой горной породы и 2 м² нарушаемой земной поверхности. Общая масса извлекаемого и перерабатываемого человечеством минерального сырья составляет около 100 Гт/год, что лишь в 10 раз меньше массы синтезируемого биотой органического вещества (~1000 Гт/год в живом весе) и во столько же раз превосходит объем вещества, поступающего на дневную поверхность в результате вулканической деятельности.

В связи с таким резким и непрерывным увеличением объема различных выбросов из антропогенных источников весьма актуальной стала проблема охраны окружающей среды уже на планетарном уровне. Необходимо также определение устойчивой и оптимальной формы взаимодействия человеческого общества с природой, представляющей собой инерционный саморегулирующий механизм, который направлен на сохранение, поддержание и повышение продуктивности и разнообразия биосферы.

Следовательно, знание основ современного учения о взаимосвязи человека с биосферой необходимо главным образом для правильного решения возникших в последнее время острых экологических задач.

Как известно, имеются различные аспекты учения о биосфере Земли. Для студентов горных специальностей основное значение имеют геохимические принципы этого учения, разработанные выдающимся ученым XX века В.И. Вернадским и его многочисленными учениками и последователями. В частности, важным представляются особенности поведения химических элементов (рассеяние или концентрирование) в окружающих ландшафтах, возникающие при антропогенной деятельности, их взаимосвязь с живыми организмами, а также эволюция биосферы (в том числе регулируемая) под влиянием антропогенной деятельности.

Такой подход предполагает рассмотрение Человека в русле всего протекающего на Земле эволюционного процесса, определение его биосферной функции и научно обоснованного прогноза будущего развития, опирающегося на ретроспективную базу — уже пройденный Природой путь. Тем самым определяются благоприятные возможности эволюционного процесса — по пути роста устойчивости биосферы.

Глава 1

Основы общего учения о биосфере

•
**1.1. Современное понятие
биосферы**

•
**1.2. Основные функции
биосферы**

•
План лекции

•
**Контрольные вопросы-
задания**

1.1

Современное понятие биосферы

Согласно гипотезе академика А.И. Опарина (выдвинутой в 1921 г.) жизнь возникла в определенный момент эволюции Земли как планеты.

Это был период, когда в насыщенной водяными парами атмосфере находились кислородные производные углеводов, аммиак, цианистые и другие органические соединения, обладающие значительной свободной энергией и способные к сложным химическим превращениям.

Их появление было возможно лишь при весьма высоких температурах, радиации, усиленном ультрафиолетовом излучении.

По мере охлаждения Земли и при понижении температуры ее верхних слоев до 100 °С из атмосферы на земную поверхность устремились горячие ливни, образовавшие кипящий океан.

Вместе с водой в океан попадали и органические вещества, обусловившие после концентрации процесс взаимного присоединения, приводивший к появлению все более крупных и сложных частиц.

В результате (после того как подобные превращения длились многие тысячи лет) в первичной водной оболочке Земли возникли коллоидные растворы, из которых образовались сгустки студенистых органических веществ.

Эти сгустки геля в какой-то степени и представляли собой первичные протоорганизмы сложной структуры, способные к поглощению веществ из внешней среды.

Имеющиеся данные геологического изучения пород литосферы свидетельствуют о непрерывном воздействии на них окислительно-восстановительных реакций со стороны живого вещества. Это обстоятельство приводит к *космической гипотезе* привнесения жизни на Землю, так как возникла сразу вся совокупность организмов, выполняющих различные биогеохимические функции. Или же жизнь, начавшись с одной простейшей формы, так быстро раздробилась на разновидности, имеющие разные геохимические функции, что этот период при всем своем своеобразии не оставил никаких следов в земной коре.

В процессе длительной и сложной эволюции, обусловившей совершенствование физико-химической структуры гелей, примерно 3,8—3,5 млрд. лет назад из ступков образовались уже простейшие (с одним типом клетки) настоящие первичные организмы (получившие название *прокариоты*) со всеми присущими живому веществу функциями (размножением, восприятием и преобразованием окружающей среды преимущественно на основе окислительно-восстановительных процессов и т.д.). Затем впервые появились предъядерные формы — *уркариоты* (примерно 3,2—3 млрд. лет назад).

Наиболее важен рубеж 2,1—1,9 млрд. лет назад, когда сине-зеленые водоросли начали фиксировать азот и связывать его с углеродом, что высвободило кислород. В результате среда стала меняться с восстановительной на окислительную, но концентрация кислорода свыше 1 % оказалась ядовитой для прокариот, что было отмечено в истории Земли длительным периодом угленакопления [43].

Высокое содержание кислорода в океанических водах привело к появлению *эукариот*, имеющих в цитоплазме ядро с набором хромосом и, следовательно, минимум уже два типа клеток. Использование ими кислорода усилило процесс разложения глюкозы, образующейся в процессе фотосинтеза, в 20 раз. С возникновением эукариот завершился период биохимической специализации организмов и началась их внутриклеточная эволюция.

История развития жизни имеет своего рода качественный скачок, связанный с особым классом силикатных минералов — цеолитов, включающих в свою структурную решет-

ку гидроксильную группу ОН [43]. Для цеолитов характерна наибольшая сложность структурной организации, которая по уровню сложности приближается к полимерам органического происхождения. В рамках теории биогенеза это послужило основанием для «матричной» гипотезы развития биополимерных молекул на природных кристаллах.

Если учесть, что *основной признак жизни* - самовоспроизведение и самообновление белковых тел, в основе которых лежит саморепликация (т.е. удвоение молекулы ДНК под действием ряда белков-ферментов с передачей рождающейся клетке генетической информации), а также свойство хиральности живой среды (например, белки содержат только «левые» аминокислоты), то становится очевидной важность роли цеолитов и магнитного поля в развитии форм жизни. Так, на глинах, возможно, происходил синтез полипептидов, а на базальтах — полинуклеотидов, т.е. минералогический код управлял синтезом органических соединений.

В настоящее время установлено, что все живое вещество обладает свойством дисимметрии, благодаря которому во всех связанных с жизнью проявлениях существуют только оптические оси симметрии, в которых нарушено равенство правых и левых сторон. Этой особенностью живое вещество отличается от вещества неорганического, с осями простой симметрии. Как в строении слагающего вещества, так и в физиологических проявлениях живые организмы обладают резко выраженной дисимметрией с преобладанием правых явлений. Правый характер дисимметрии живых организмов выражается рядом явлений, начиная с правого вращения плоскости поляризации при прохождении луча света через биологические объекты и кончая усваиванием организмами правых антиподов кристаллических веществ и инертным отношением к левым антиподам.

Это явление частично подтверждает космическую гипотезу распространения жизни, так как в соответствии с принципом Кюри дисимметрия может возникнуть только под влиянием процессов, обладающих такой же дисимметрией. Другими словами, абиогенез мог произойти только в дисимметричной правой среде. Поскольку все неорганические процес-

сы и образования на Земле обладают обычной симметрией, дисимметричные процессы, послужившие причиной появления жизни, следует искать на соответствующих планетах Вселенной (вероятно, среди туманностей спиральной формы).

На Земле такие условия могли быть связаны прежде всего с космическими объектами, попадавшими на ее поверхность. По химическому составу астероиды значительно отличаются от среднего состава Земли и способны приводить к образованию аномалий в ее теле. Возможно, что при падении крупного астероида могли создаться условия, необходимые для зарождения жизни.

В период возникновения первых живых организмов земная атмосфера почти не содержала молекулярного кислорода и, следовательно, была лишена верхнего озонового слоя.

Сильное коротковолновое ультрафиолетовое излучение беспрепятственно достигало земной поверхности, поэтому дальнейшее развитие жизни было возможным лишь в существовавших тогда небольших и насыщенных минеральными солями водоемах глубиной 10—100 м. Тем более что 10 основных химических элементов, встречающихся в организме человека и у 99 % животных, совпадают с химическим составом морской воды (если фосфор заменить магнием).

По относительному содержанию неорганических ионов кровь человека (как и других позвоночных животных) также аналогична морской воде (табл. 1.1).

Поэтому первые этапы развития жизни (до ее выхода на сушу) должны были коррелировать с характеристиками водной среды и прежде всего с вариациями содержаний в морской воде таких химических элементов, как Mo, Zn, Fe.

Эти элементы необходимы для всех организмов (включая и бактерии, например клостридии, которые в наибольшей степени приближены к первым земным существам).

При этом следует учесть, что молибден участвует в обмене веществ между клетками и окружающей средой, железо — в переносе электронов и энергетическом обмене, цинк — в метаболизме макромолекул и, следовательно, в передаче информации.

Таблица 1.1

Сравнение химического состава крови человека и вод Мирового океана

Химический элемент	Процент от суммы растворенных солей	
	в крови человека	в морской воде
Хлор	49,3	55,0
Натрий	30,0	30,0
Кислород	9,9	5,6
Калий	1,8	1,1
Кальций	0,8	1,2

Установлено, что элементы с переходной валентностью (Mo, Fe, Zn, Mn, Co, Cu) ускоряли ход эволюции, создавая и развивая мономолекулярные мультикаталитические (многоферментные) системы [43]. Причем вариации содержаний этих элементов определялись в основном тектоническими и магматическими событиями на Земле.

Следующий качественный скачок эволюции связан с возникновением многоклеточности. Он протекал примерно 0,9 млрд. лет назад и характеризовался максимумами концентрации большинства химических элементов, необходимых живым организмам в окислительных водах. Появление первых *офиолитов* произошло около 1 млрд. лет назад и было обусловлено активными крупномасштабными горизонтальными перемещениями литосферы и развитой мантийной конвекцией.

Многоклеточность явилась началом новых принципов адаптации организмов к окружающей среде. Самым важным событием для биоты было возникновение около миллиарда лет назад *нервной клетки*, открывшей очередной этап в эволюции живого мира — путь к созданию системы управления многофункциональными организмами.

В любом случае — после привнесения или самозарождения — жизнь стала иметь разнообразные формы и последовательно освоила практически всю поверхность нашей планеты. Это обстоятельство позволило академику В.И. Вернадскому (1863—1945 гг.) объединить в своих построениях планетарную совокупность живых организмов как *единое живое вещество*.

Сегодня для полноценной характеристики живого вещества необходимо использовать следующие показатели:

химический состав;
средний вес организмов;
среднюю скорость заселения ими земной поверхности.

С планетарных позиций классификацию живого вещества (в отличие от биологии или других наук) необходимо осуществлять на геохимической основе, т.е. по химическому составу и особенностям преобразования окружающей среды, а также по типу потребляемых веществ.

Автотрофными (от греч. *afit* — сам и *trof* — питание) называются все организмы, берущие нужные им для существования химические элементы из окружающей косной материи и не требующие для построения своего тела готовых органических соединений другого организма.

Гетеротрофными (от греч. *geter* — разный) называют организмы, нуждающиеся для своего существования в органическом веществе, образованном другими организмами, а **миксотрофными** (от греч. *miks* — смешивать) — организмы, имеющие смешанный тип питания. Среди гетеротрофов выделяют две категории организмов: питающиеся живым органическим веществом — **биотрофы** и использующие отмершие органические остатки — **сапротрофы** (от греч. *sapr* — гниль). В существующих сейчас наземных экосистемах вес живого вещества гетеротрофов в тысячи раз меньше веса автотрофов. В результате этого биотрофы не справляются со своей кормовой базой, и большая часть продукции живого вещества отмирает естественным образом. Отмершую органику и продукты метаболизма потребляют разнообразные сапротрофы, полностью расщепляющие эти вещества до простых минеральных соединений — углекислого газа, воды, азота и солей.

Сапротрофы не только предохраняют среду от самоотравления (многие продукты распада отмершего органического вещества чрезвычайно ядовиты), но и, расщепляя органику, возвращают углерод и азот в минеральную форму (только в этом виде они могут потребляться автотрофами). Характерно, что если биотрофы для нормального своего развития нуждаются в смешанной пище, состоящей из разнообразных веществ (белков, жиров, сахаров или крахмала), то сапротрофные бактерии при наличии азота и зольных элементов могут

обходиться каким-нибудь одним органическим веществом (например, белком или сахаром).

Зеленые растения, использующие солнечный свет в качестве источника энергии, называют *фототрофами* (от греч. *for* — свет). После открытия русским микробиологом С.В. Виноградским (1856—1953 гг.) способности некоторых видов бактерий создавать живое вещество за счет энергии нитрификации (окисления аммиака до азотной кислоты) в качестве отдельной группы организмов выделили *хемотрофы*. Впоследствии были выявлены бактерии, способные получать энергию в результате окисления и других элементов — водорода, серы, железа или сурьмы.

Живое вещество Земли имеет ряд специфических (при-
сущих только ему) свойств [24]:

1. Живое вещество нашей планеты характеризуется огромной свободной энергией. В неорганическом мире по количеству свободной энергии с живым веществом могут быть сопоставимы только незастывшие лавовые потоки.

2. Резкое различие между живыми и неживыми объектами наблюдается в скорости протекания химических реакций: в живом веществе реакции идут в тысячи, а иногда и в миллионы раз быстрее. Для жизненных процессов характерно, что получение небольших масс или порций энергии вызывает передачу и переработку значительно больших энергий и масс. Так, вес насекомых, поедаемых синицей за один день, равен ее собственному весу, а некоторые гусеницы потребляют и перерабатывают за сутки в 200 раз больше пищи, чем весят сами.

3. Отличительной особенностью живого вещества является и то, что слагающие его индивидуальные химические соединения (белки, ферменты и т.д.) устойчивы только в живых организмах (в значительной мере это характерно и для минеральных соединений, входящих в состав живого вещества).

4. Живое вещество стремится заполнить собой все возможное пространство. Свойство максимальной пространственной экспансии присуще живому веществу так же, как теплоте переходить от нагретых тел к менее нагретым, диффузии химических соединений и ионов в растворе, а газу — рассеиваться в атмосфере.

5. Живое вещество обнаруживает значительно большее морфологическое и химическое разнообразие, чем неживое. Различия между вирусом и млекопитающим намного больше, чем между любыми самыми контрастными представителями неживого вещества. Химический состав живого вещества поразительно разнообразен: известно свыше 2 миллионов органических соединений, входящих в его состав. В то же время количество природных минералов составляет всего около 2 тысяч, т.е. на 3 порядка меньше.

6. Живое вещество на Земле представлено в виде дисперсных тел — индивидуальных организмов. Их размеры колеблются в пределах от 20 нм (у наиболее мелких вирусов) до 100 м (палеоящеры), т.е. диапазон более 10^9 . По мнению В.И. Вернадского, минимальные и максимальные размеры живых организмов определяются предельными возможностями их газового обмена со средой обитания.

7. Будучи дисперсным, живое вещество никогда не находится на Земле в морфологически чистой форме (в виде популяций одного вида): оно всегда представлено *биоценозами*, т.е. сообществом взаимосвязанных организмов, живущих на каком-либо участке суши или водоема.

8. Одно из главных отличий живого вещества от неорганического мира — это способ использования энергии. Живые организмы способны улавливать солнечную энергию, удерживать ее в виде энергии сложных органических соединений (биомассы), передавать друг другу, трансформировать в механическую, электрическую, тепловую и др. Таким образом, живое вещество собирает полученную им в форме солнечного света энергию и превращает ее в свободную энергию, способную совершать работу.

9. Решающее отличие живого вещества от косного заключается в следующем:

- в ходе геологического времени возрастают мощь живого вещества и его воздействие на косное вещество биосферы;
- только в живом веществе происходят качественные изменения организмов в ходе геологического времени, нашедшие объяснения в теории Ч. Дарвина происхождения видов путем естественного отбора;

- живые организмы изменяются в зависимости от трансформации окружающей среды, адаптируются к ней, что вследствие постепенного накопления изменений служит источником эволюции.

10. Особенностью живого вещества также является то, что количество массы живого вещества, соответствующее данному моменту, не дает представления о его работе в течение всего времени существования организмов. По существу, масса биогенного вещества Земли — это интеграл массы всех существовавших в разное время живых организмов, в то время как в геологической истории масса неживого абиогенного вещества земного происхождения остается примерно постоянной.

В итоге за время своего существования живое вещество Земли покрыло практически всю ее поверхность, сформировав особую сферу. Биосфера (от греч. *bios* — жизнь и *sphaira* — шар) — это оболочка Земли, в которой развивается и функционирует жизнь, а процессы обмена веществ и энергии происходят главным образом за счет жизнедеятельности организмов, и включающая живые организмы, биогенное (уголь, нефть, известняки и др.), косное (в его образовании живое не участвует) и биокосное (система совместного функционирования косных тел и живых организмов, например почвы, леса, поверхностные воды или океан в целом) вещество, а также вещество космического происхождения. Масса биосферы (включающая все органическое вещество биогенного происхождения и косного вещества других сфер, занятых биосферой) оценивается величиной $(2,5—3)10^{24}$ г, а масса живого вещества — около 0,0001 % от этого показателя [42].

Биосфера охватывает верхние слои литосферы (в нефтяных водах микроорганизмы были найдены на глубинах 5—6 км), водную оболочку до глубины 12 км и нижний слой атмосферы высотой до 15 км. Распространение жизни в литосфере ограничивается прежде всего температурой вмещающих горных пород, которая возрастает с глубиной и на уровне 15 км превышает 100 °С. Верхняя граница жизни в атмосфере определяется нарастанием с высотой ультрафиолетовой радиации Солнца.

Понятие о биосфере менялось во времени. Элементы современной концепции биосферы содержались уже в трудах французского натуралиста Ж.Б. Ламарка (1744—1829 гг.). В 1875 г. известный австрийский геолог Э. Зюсс (1831—1914 гг.) наряду с атмосферой, гидросферой и литосферой выделил в качестве самостоятельной оболочки Земли биосферу (или сферу жизни). Но наибольший вклад в науку о биосфере внес выдающийся отечественный ученый-естествоиспытатель В.И. Вернадский. Он представил биосферу не как простую совокупность живых организмов, а как единую термодинамическую оболочку (пространство), в которой сосредоточена жизнь и осуществляется постоянное взаимодействие всего живого с неорганическим миром.

В 1926 г. В.И. Вернадским была опубликована основополагающая книга «Биосфера», где рассматривались закономерности функционирования биосферы как цельной системы с определяющей ролью живого вещества. В ней было зафиксировано, что живое вещество не просто пронизывает верхнюю часть твердой, всю жидкую и низы газообразной оболочек Земли (что констатировали еще его предшественники), но и выступает как сила, регулирующая планетарные потоки вещества и энергии и связывающая между собой все три земные оболочки в единую систему. Так, кислородная атмосфера, примерное постоянство химизма вод суши и океана, наличие в составе литосферы материковых поднятий с их гранитным слоем — это интегральное выражение работы планетарной *биоты* (т.е. совокупности организмов, обитающих на данной территории) и процессов в неорганической природе Земли. Другими словами, жизнь является ведущим фактором преобразования нашей планеты.

1.2

Основные функции биосферы

В связи с тем что жизнь опосредует все другие планетарные процессы, необходимо уяснить, чем же живые организмы отличаются от остальных природных тел и почему об-

ласть, занятую жизнью, выделяют в особую оболочку — биосферу?

Особенность живых объектов заключается не только в ускорении химических реакций, но и в том, что некоторые реакции при нормальных температурах и давлениях вне организмов вообще не происходят. Так, жиры и углеводы окисляются в организме при температуре около 37°C , а вне его для их окисления уже требуется нагревание до $450\text{--}500^{\circ}\text{C}$ [24]. Подобное снижение температуры окисления обеспечивается наличием в организмах особых катализаторов (ферментов), ускоряющих протекание химических процессов.

В целом взаимодействие живых и неживых компонентов определяется биогеохимическими функциями биосферы (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Биогеохимические функции живого вещества в биосфере

Функция	Характеристика происходящих процессов
Энергетическая	Поглощение солнечной энергии при фотосинтезе, а химической энергии — путем преобразования активных веществ
Деструктивная	Разложение вещества, минерализация органических соединений, вовлечение химических элементов в биогеохимический круговорот атомов
Концентрационная	Избирательное накопление в ходе жизнедеятельности определенных химических элементов
Транспортная	Перенос вещества против силы тяжести и в горизонтальном направлении
Средообразующая	Преобразование физико-химических параметров среды
Биохимическая	Размножение и рост живых организмов

Основной энергетической функции являются окислительно-восстановительные реакции живого вещества, играющие важную роль в истории многих элементов с переменной валентностью (азота, меди, селена, урана, кобальта, ванадия, молибдена и др.), которые при ее изменении резко меняют свое поведение в биосфере.

Исключительно важна концентрационная функция живых организмов, обеспечиваемая накоплением организмами в своих телах многих химических элементов. Концентрация хи-

мических элементов живым веществом может проявляться в двух принципиально различных формах:

- в виде морфологически оформленных минеральных образований;
- в виде органоминеральных соединений.

Наиболее наглядным примером концентрации элементов служат каменные и бурые угли, а также торф, образовавшиеся из остатков растений и являющиеся накопителями углерода. Так, в углях по сравнению со средним в земной коре ($2,3 \cdot 10^{-2} \%$) содержание углерода повышено в 1000 раз. Концентрационная функция живого вещества проявляется и в накоплении в биосфере кальция (например, из карбонатов и известняков сложены целые горные хребты и т.д.).

Содержание урана в гуано океанского побережья Перу в 10 тысяч раз превышает его концентрацию в морской воде [24]. Известны живые организмы (диатомовые водоросли, кремнистые губки и другие) — концентраторы кремния, деятельности которых обязаны отложения этого элемента.

Акантарии строят скелет своего организма из весьма дефицитного элемента в морской воде — стронция. Еще более редкий в морской среде элемент — ванадий — входит (до 15 %) в состав крови асцидий. В Новой Зеландии обнаружен кустарник, высушенные листья которого содержат до 1 % никеля.

Концентраторами йода служат морские водоросли; фосфора — позвоночные животные; железа, марганца и серы — особые бактерии. Причем физиологические особенности растений, в частности водорослей, позволяют концентрировать химические элементы при их весьма низких концентрациях (менее 10 мг/л). Для бактерий предельные концентрации химических элементов еще ниже. Особое влияние на геохимию элементов оказывают микроорганизмы с разным видом воздействия на различные соединения. Так, если бактерии рода *Thiobacillus* окисляют сульфиды разнообразных металлов, переводя их в растворимое состояние, то бактерии рода *Ferrobacillus* способны переводить, например, ионы Fe^{2+} в осаждаемые ионы Fe^{3+} [20].

Транспортная функция обуславливает перемещение химических элементов на суше снизу вверх и из океана — на континенты. Например, только питание наземных организмов морской пищей компенсирует (возвращает) на сушу соизмеримую часть тех масс химических элементов, которые реки уносят в море.

Средообразующая функция биосферы заключается в преобразовании физико-химических параметров среды в результате жизнедеятельности живых организмов. Другими словами, вследствие процессов фото- и хемосинтеза происходит воздействие организмов на среду. Это объясняется тем, что при жизнедеятельности растений выделяются сильный окислитель — кислород и сильный восстановитель — органические вещества.

Кроме этого, живые организмы, вследствие превращения атомов и молекул в положительно и отрицательно заряженные ионы, изменяют величину *ионизации* атмо- и гидросферы (степень которой определяется отношением общего числа ионов к числу нейтральных частиц). Ионизация происходит по многим причинам (поглощение электромагнитного излучения — *фотоионизация*, нагревание тела — *термическая ионизация*, воздействие электрического поля и другие факторы), в том числе и под влиянием растительности, повышающей концентрацию полезных для организма человека легких ионов. Например, в лесном воздухе степень ионизации кислорода обычно в 2—3 раза выше, чем над морем, в 5—10 раз выше, чем над лугом, и примерно в 150 раз выше, чем в воздухе жилых помещений. Наивысшей ионизирующей способностью обладают акация белая, дуб черешчатый и красный, ель обыкновенная, лиственница сибирская, сосна обыкновенная, можжевельник и ряд других растений. Однако некоторые растения снижают количество легких ионов и повышают число тяжелых: тис ягодный, табак душистый, черемуха, гвоздика садовая, шалфей блестящий, магнолия, мимоза, аралия и эвкалипт.

Живое вещество оказывает определяющее влияние на состав атмосферы и природных вод Земли главным образом путем выделения во внешнюю среду биогенного вещества.

Так, кислая реакция вод чаще всего связана с растворением в них углекислого газа или гуминовых кислот. Процесс фотосинтеза в поверхностных частях водоемов вызывает уменьшение содержания углекислого газа и увеличение рН.

При «цветении» пресноводных бассейнов рН воды повышается водорослями и цианобактериями до значений 9—10 и более. Процессы разложения органики происходят во всей водной толще, а это приводит к противоположным результатам — увеличению содержания углекислого газа в воде и к понижению рН (гниющие водоросли могут понизить рН морской воды до значения 6,4).

В донных осадках водоемов физико-химические условия среды определяются главным образом наличием органического вещества: при его присутствии — обстановка восстановительная, в отсутствии — окислительная. Восстановительная обстановка создается в застойных условиях при разложении отмершей органики сульфатвосстанавливающими бактериями с образованием сероводорода. Этот процесс протекает везде, где есть влага, сульфат-ионы (SO_4^{2-}) и скапливается органическое вещество.

Причем организмы создают в процессе своей жизнедеятельности неоднородность (механическую или химическую) среды своего обитания. Например, животные, строя свои норы в грунте, сильно изменяют его свойства. Так, благодаря рытлению почвы дождевыми червями объем воздуха в ней увеличивается в 2,5 раза. Изменяют механические свойства почвы и корни высших растений (особенно древесных): они ее скрепляют и предохраняют от эрозии. В результате смыв почвы в лесах происходит в 6 раз менее интенсивно, чем в степях. Аналогичным же образом действуют грибы и нитчатые цианобактерии: они создают подобие сети, предохраняющей почву от эрозии. Так, в горных породах Таджикистана в 1 г почвы содержится иногда свыше 100 м нитчатых цианобактерий.

Из всех представителей живого вещества Земли наиболее значимыми по своему средообразующему влиянию на биосферу являются микроорганизмы. Многие из них способны активно изменять внешнюю среду в соответствии со своими жизненными потребностями. Например, в чрезмерно кислой

для микроорганизмов среде они вместо кислых выделяют нейтральные продукты, а в щелочной — усиленно образуют кислоты [24]. При этом важную роль играют сульфатовосстанавливающие и тионовые бактерии: первые превращают сульфат-ион в сероводород, а вторые осуществляют обратную реакцию — окисляют сероводород до серной кислоты (известно, что если сероводород не удаляется из среды, то происходит ее самоотравление).

Многие газы порождены жизнью. Например, продуктом фотосинтеза зеленых растений является свободный кислород атмосферы, а продуктом дыхания всех организмов — углекислый газ.

К *биохимической функции* относятся такие явления, как рост, размножение и перемещение живых организмов, имеющие важное геологическое значение, так как приводят к быстрому распространению живых организмов — «давлению жизни».

Доказав, что биосфера является глобальной экосистемой, В.И. Вернадский в работе «Биосфера в Космосе» сформулировал *главный закон развития биосферы и человека*: «Жизнь не является... внешним случайным явлением на земной поверхности. Она теснейшим образом связана со строением земной коры, входит в ее механизм и в этом механизме исполняет величайшей важности функции, без которых он не мог бы существовать». Из этого закона следует, что планетарной биоте принадлежит центральное место в глобальной экосистеме и что живое вещество не рядовой компонент природной среды, а выступает в ней в роли надкомпонента, по состоянию которого следует судить о биосфере в целом.

Из закона вытекает также и то, что биоту Земли нельзя рассматривать лишь как структуру, возобновляющую экологические ресурсы. Способность живого вещества оказывать преобразующее действие на окружающую среду и определенным образом организовывать ее свидетельствует о его обладании *функциями управления*. Их стихийное или же сознательное нарушение человеком, которое зачастую оправдывается целью построения «второй природы», одинаково губительно для биосферы.

Таким образом, В.И. Вернадский открыл биогенно-геодинамическую природу системы «атмосфера — гидросфера — литосфера» и ее центрального блока — биосферы. Он установил уникальную роль живого вещества в действии механизма трех внешних геосфер — механизма супергеосферы, в которой находится наш мир.

В результате осуществления этих функций биосфера обладает свойством саморегуляции, позволяющим по некоторым показателям и особенностям оставаться постоянной даже на весьма длительных промежутках времени. В основном эта особенность связана со средним химическим составом и массой живого вещества биосферы, так как живая часть неизменно составляет определенную долю массы всей биосферы. Только при этом условии на протяжении длительных периодов существования биосферы не нарушается постоянство химических процессов приповерхностной части литосферы, в которой выражается химическое действие жизни. Следовательно, с момента образования биосферы жизнь уже должна состоять из многочисленных и разнообразных форм, имеющих различные функции.

Биогеохимические функции можно классифицировать по основным (ведущим) химическим элементам.

Так, *кислородно-углеродная функция* осуществляется зелеными растениями. Практически весь кислород (общее количество которого в атмосфере в свободном состоянии в настоящее время оценивается величиной $1,18 \cdot 10^{15}$ т) возник в результате деятельности организмов путем разложения молекул углекислоты. Вывод о биогенном происхождении свободного кислорода подтверждается соотношением общих количеств углерода и кислорода на планете, относящихся друг к другу как 12 + 32 — так же, как атомные веса этих элементов в молекуле CO_2 (атом углерода с атомным весом 12 и два атома кислорода с атомным весом 16).

Углекислотная функция независимо от кислородной осуществляется всеми живыми организмами, в том числе и бактериями. В результате их деятельности образующийся углекислый газ, растворяясь в водах, оказывает огромное влияние на миграцию большинства химических элементов (фор-

мируя кислую и щелочную реакцию вод, образуя карбонатные комплексы металлов и т.п.).

Озонная и перекисьводородная функции заключаются в продуцировании сильных окислителей — озона и перекиси водорода.

Азотная функция заключается в накоплении азота в результате жизнедеятельности микроорганизмов и других биогенных процессов.

Углевodородная функция обеспечивается в бескислородной среде при микробиологическом разложении органических остатков, что приводит к образованию метана и других углеводородов.

Сероводородная функция обеспечивается также в бескислородной среде, содержащей органические остатки и сульфаты, сульфатредуцирующими бактериями, разлагающими органические вещества и сульфаты с выделением углекислого газа и сероводорода.

Водородная функция заключается в образовании в бескислородной среде водорода при разложении органических остатков бактериями (водородное брожение клетчатки).

Согласно мировоззрению В.И. Вернадского функции живого вещества в биосфере (биогеохимические функции) остаются неизменными в течение всего геологического времени и ни одна из них не появилась вновь. Они непрерывно существуют одновременно.

Важно осознать, что нет организма, который один мог бы исполнять все эти биогеохимические функции. Исключено также и то, чтобы в ходе геологического времени происходила смена организмов, замещающих друг друга в исполнении какой-либо одной биогеохимической функции, без изменения ее самой. Только со времени появления в биосфере цивилизованного человечества один организм оказался способным одновременно вызывать разнообразные химические процессы, достигая этого разумом и техникой, а не физиологической работой своего организма. Поэтому хотя человечество составной частью и входит в биосферу, в изучении ее эволюции мы выделяем *Человека* как объект, наиболее значительно преобразующий среду своего существования.

Открытия, сделанные В.И. Вернадским, позволили ему поставить и искать ответ на вопрос: *к чему ведет столкновение не согласующихся между собой двух основных сил планеты — механизма саморегулирования и саморазвития биосферы, с одной стороны, и стремительно прогрессирующего нарушения природных равновесий технически вооруженным человечеством, с другой.*

Получив функциональное могущество, а значит, и некоторую власть над природой, человечество сразу отошло от сложившихся тысячелетиями принципов *эволюции* (предполагающих взаимосвязанное последовательное развитие). В результате практически любая деятельность человека оказывает пока в целом негативное воздействие на биосферу. Интеллект человека стал инструментом агрессии над биосферой и при минимуме энергетических затрат обеспечил стабильное поступление продуктов потребления в человеческое общество.

Экологические кризисы (под которыми понимают напряженное состояние взаимоотношений между человечеством и биосферой, характеризующееся несоответствием развития производительных сил и производственных отношений ресурсо-экологическим возможностям) всегда сопровождали человеческое общество, что объясняется несоответствием (превышением) используемых им техники и технологий возможностям биосферы (рис. 1.1).

Первый экологический кризис был связан с совершенствованием орудий и методов охоты (рис. 1.2). Перед первобытным обществом всегда стояла задача увеличения объемов потребляемых продуктов питания, которые добывались охотой на крупных видов животных (древних мамонтов, слонов, бизонов, носорогов, медведей, гигантских ленивцев и др.).

Были придуманы ловушки-ямы и методы загона в них животных всем племенем. В результате такого усовершенствования техники и методов охоты количество добываемых животных, а следовательно, и объем пищи возросли, и первобытное общество могло резко увеличить число своих членов. Но через некоторое время подобный интенсивный отлов животных привел к резкому сокращению их поголовья. Это был первый экологический кризис, обусловленный перепотреблением человеческим обществом природных ресурсов.

Вектор усиления антропогенного воздействия

Глобальный кризис надежности экологических систем

Глобальный термодинамический (тепловой) кризис

Глобальный экологический кризис редуцентов (загрязнения) и нехватки минеральных ресурсов

Второй антропогенный экологический кризис

Кризис примитивного полевного земледелия

Первый антропогенный экологический кризис (консументов, перепромысла)

Кризис обеднения ресурсов промысла и собирательства

Доантропогенный экологический кризис аридизации



Рис. 1.1. Экологические кризисы и революции

В биосфере среди живых объектов, не обладающих человеческим разумом, такое изменение в соотношении «хищник—жертва» описывается уравнением Лотки—Вольтерра и приводит к последующему сокращению численности хищника (рис. 1.3). Например, после дождливого лета на обильном травяном корме резко увеличивается количество зайцев. Но и число лис, охотившихся на зайцев, за счет размножения тоже резко растет. В результате отлова лисами зайцев происходит уменьшение их популяции, что приводит к снижению численности популяции лис.



Рис. 1.2. Схема, иллюстрирующая совпадение по времени исчезновения некоторых крупнейших представителей животного мира плейстоцена и заселение мест их обитания охотниками палеолита:

основные периоды пути человека, отмеченные гибелью животных (лет): 1 — до 40 000 (до современности); 2 — от 20 000 до 13 000; 3 — от 13 000 до 11 000; 4 — от 11 000 до 10 500; 5 — от 10 500 до 8 000; 6 — от 8 000 до 2 000; 7 — от 1 000 до 400; → — переселение человека

Но в случае с человеческим обществом этого не происходит. Истребив большую часть популяции крупных диких животных, человечество изобретает новые орудия (копье, лук, силки и т.д.) и методы охоты на мелкую дичь (олений, коз, кабанов, птиц и др.). В результате достигается отложение кризиса перепотребления и гибели человеческого общества (рис. 1.4).

Обилие мелкой дичи, эффективных орудий и методов охоты на нее приводит к увеличению объемов получаемой пищи, а следовательно, и к дальнейшему росту численности человеческого общества. Последнее обстоятельство вынуждает к усилению охотничьей деятельности, что обуславливает сокращение популяции уже более мелких диких животных.

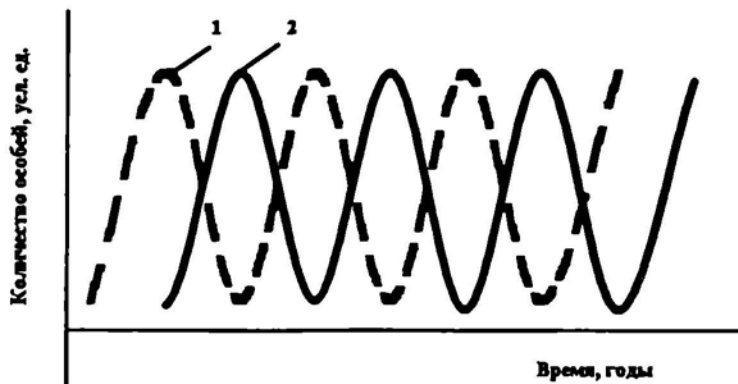


Рис. 1.3. Зависимость «хищник—жертва»:
1 и 2 — численность соответственно зайцев и лис

И вновь в результате своей деятельности человеческое общество предстает перед экологическим кризисом (исчерпанием объектов живого мира), грозящим ему гибелью. Но этого вновь не происходит.

Чтобы выжить, человечество придумывает новые методы увеличения объемов потребляемой пищи: на этот раз — одомашнивание диких животных, пастбищное животноводство и расширение сферы собирательства дикорастущих ягод, плодов и съедобных растений. И снова достигаются преодоление имеющегося экологического кризиса и рост численности человеческого общества.

Для обеспечения пищей растущего общества увеличивают рост поголовья домашних животных, а это ведет к расширению территорий пастбищ. Для этого сводится часть прилегающих природных лесов (и одновременно уменьшаются объемы собираемой из них пищи), а также повышается нагрузка на имеющиеся пастбища. В результате происходит их деградация и опустынивание (по такому сценарию могло происходить опустынивание территории нынешней Сахары). И опять человечество предстает перед грозящей ему экологической катастрофой.

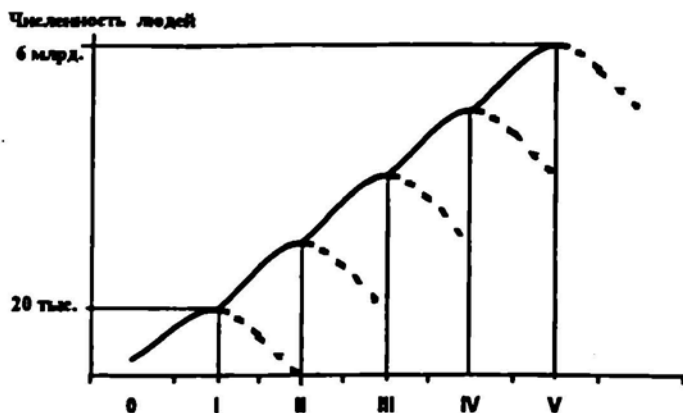


Рис. 1.4. Кризис перепотребления природных ресурсов: технологии получения пищи: I — ловушки-ямы для крупных диких животных; II — стрела, копье, силки для мелких животных; III — одомашненные животные; IV — агрокультурные технологии; V — генная инженерия

Кардинальное решение проблемы обеспечения продовольствием человечество находит в переходе к *агрокультурным технологиям*, т.е. в проведении сельскохозяйственных работ. Это отодвигает глобальный экологический кризис перепотребления природных ресурсов до нашего времени, хотя региональные катастрофы возникали периодически. Например, применение поливных технологий в древности с первоначальным расцветом шумерской, ассирийской, вавилонской и других империй Двуречья привело к засолению сельскохозяйственных территорий и снижению их урожайности. Сведение лесов для увеличения сельскохозяйственных площадей одновременно с их опустыниванием уже стало влиять на региональный климат планеты.

Темпы общемировых потерь живого вещества в ходе современной хозяйственной деятельности человечества оцениваются (млрд. т/год):

- сведение лесов — 4,4;
- избыточная пастьба — 0,7;
- почвенная эрозия — 0,45;
- окисление гумуса на возделываемых землях — 0,3;
- дефляция аридных земель — 0,06.

Суммарно потери составляют более 5—6 млрд. т/год [42].

В настоящее время наряду с имевшимися экологическими кризисами перепотребления в биосфере (когда ежедневно на Земле исчезает один вид биоты) появился и новый — катастрофическое *геохимическое загрязнение* планеты.

Современное видение этой грандиозной коллизии, разворачивающейся в среде нашего обитания, позволяет наметить глобальные пути целенаправленной и совместной эволюции биосферы и человечества, получившей название *коэволюции*. Эволюция природы идет медленно (тысячелетиями), а социальное развитие человечества происходит гораздо быстрее (веками и даже десятилетиями). Следовательно, по теории коэволюции, несовпадение скоростей природного эволюционного процесса и социально-экономического развития человечества при неуправляемой форме взаимоотношений приведет к деградации биосферы, поскольку антропогенный фактор оказывается слишком мощным в направленности эволюции, приводящим не столько к изменению видов, сколько к их исчезновению. Выход заключается в регулируемом, сознательно ограниченном воздействии человечества на природу, в построении *ноосферы*. При этом общество, развиваясь по специфическим законам, должно лимитировать свой экстенсивный рост и техногенное давление с учетом обеспечения условно-естественного хода эволюции биосферы.

В этой связи важно использование понятия *баланса экологических компонентов* — количественное сочетание экологических компонентов (энергии, газов, воды, субстратов, растений-продуцентов, животных-консументов и организмов-редуцентов), обеспечивающих экологическое (естественное, природное) равновесие, что позволяет формироваться и поддерживаться экосистеме соответствующего типа. Например, для роста леса необходимы определенные климатические условия, состав атмосферы, водный режим, почвы, животный мир и состав микроорганизмов, возвращающих образовавшееся органическое вещество в минеральное состояние. Но все эти компоненты, составляющие для леса *среду жизни*, тесно связаны с произрастающим лесом, качественные и количественные характеристики которого в значительной степени определяют местные климатические условия, состав атмосферы, водный режим, характер почв, животный мир и состав микроорга-

низмов. Изменение любого из компонентов (например, при антропогенном воздействии) ведет к перемене их баланса.

План лекции

1. На основе различных теорий происхождения жизни на Земле дать характеристику живого вещества нашей планеты.
2. Объяснить специфические свойства и функции живых объектов.
3. Дать определение понятию «биосфера», раскрыть его смысл, описать основные показатели и характеристики.
4. Объяснить значение и место человеческого общества в биосфере.
5. Раскрыть имеющийся кризис перепотребления природных ресурсов человечеством и разработанную концепцию коэволюции.

Контрольные вопросы-задания

1. Опишите возможные пути происхождения жизни на Земле.
2. Каким общим свойством обладают все живые организмы на Земле?
3. Объясните смысл понятия «живое вещество» планеты.
4. Какие показатели используют для характеристики живого вещества Земли?
5. Дайте определение понятию «биосфера».
6. Перечислите и раскройте основные биогеохимические функции живого вещества.
7. Объясните главные отличительные признаки живого и неживого (косного) вещества.
8. Опишите взаимосвязь между основными биогеохимическими функциями биосферы и ведущими химическими элементами.
9. Сформулируйте главный закон развития человечества и биосферы.
10. Раскройте механизм кризиса перепотребления природных ресурсов.
11. Объясните сущность коэволюции человечества и биосферы.