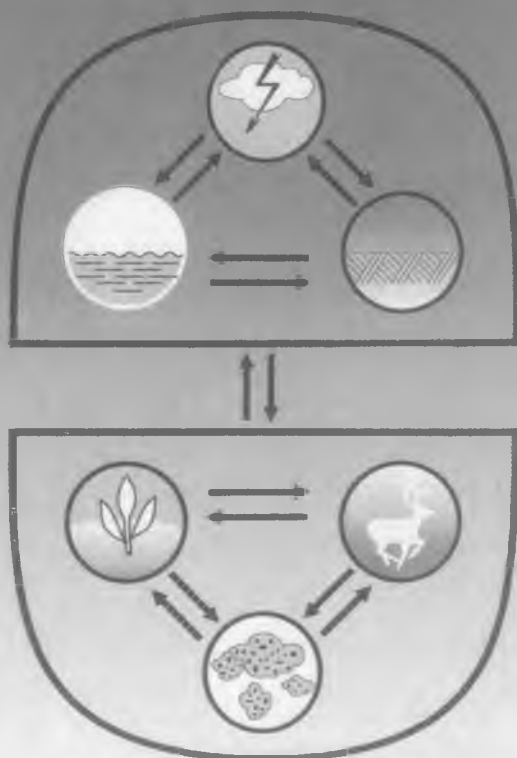


ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

ТОМ I

ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ

КНИГА 1



28.081

B.15

Г.Ю. ВАЛУКОНИС, Ш.О. МУРАДОВ

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Том I

ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ

Книга I

Допущено Министерством высшего и среднего
специального образования Узбекистана в качестве учебного
пособия для студентов небиологического профиля



Ташкент — «Мехнат» — 2001

УДК 577.4:582
ББК 20.1я73
В15

В пособии рассматриваются вопросы общей экологии в связи с инженерными проблемами охраны окружающей среды. Дан синтез современных концепций экологии, относящихся к биосфере и биохимическим циклам, природным экосистемам, сообществам и популяциям. Детально рассмотрены основные компоненты экосистем — среда и организмы. Большое внимание уделено вопросам функционирования экосистем, их эволюции, а также биотическим отношениям.

Пособие предназначено для студентов факультетов небиологического профиля, но может быть использовано также широким кругом специалистов, занимающихся проблемами экологии и охраны природы.

Рецензенты: доктор технических наук, профессор экологии Украинской инженерно-педагогической академии С.Ф. АЛЕКСЕЕНКО, доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой «Экологии и охраны природы» СамГУ З.И. ИЗЗАТУЛЛАЕВ, доктор философских наук, профессор, зав. кафедрой Ташкентского фармацевтического института Б.Г. ЗИЯМУХАМЕДОВ, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры «Экологии и водных ресурсов» ТИИИМСХ Х.И. ВАЛИЕВ, кандидат географических наук, доцент кафедры «Экологии» НУ Узб. Х.Т. ТУРСУНОВ.

1903040000 — 15
В $\frac{1903040000 - 15}{М 359 (04) - 2000}$ без объявл. 2001

ISBN 5-8244-1425-4

© Издательство «Мехнат», 2001 г.

В процессе реформирования высшей школы нам нужно укреплять ее связи с вузами других государств. Необходимо наладить привлечение преподавателей из зарубежных стран, не ограничиваясь своими силами.

ИСЛАМ КАРИМОВ

ПРЕДИСЛОВИЕ

По мере развития человеческого общества и ускорения темпов научно-технического прогресса воздействие человека на окружающую среду становится все более ощутимым, соизмеримым с действием природных факторов. Во многих случаях это воздействие приводит к отрицательным результатам, необратимым изменениям в природе, возникновению новых путей перемещения и превращения энергии и вещества, загрязнению атмосферы, гидросферы и почвенного покрова, разрушению природных компонентов, истощению природных ресурсов.

Индустриальный прогресс, направленный на создание материальных благ и повышение комфортности жизни человека, сопровождается такими явлениями как: повышение заболеваемости людей и животных, снижение урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животноводства, исчезновению отдельных видов фауны и флоры.

Эти явления неизбежны, так как ни одно производство не может выпускать только нужную продукцию. Всегда будут отходы. Разумеется, эти отходы можно превратить в дополнительную нужную продукцию, но при этом опять появятся отходы, хотя и иного рода, и т.д. и т.п. Еще хуже с энергоносителями: отработанный пласт угля уже никогда не восстановится, откачанная из скважины нефть ни завтра, ни послезавтра не образует в недрах нового скопления.

Поэтому мы должны смириться с прискорбным фактом, что любая деятельность человека нарушает равновесие в природе и особенно отрицательно влияет на ресурсы Земли. Прекращение всякой деятельности невозможно, однако, наша задача состоит в том, чтобы последствия этой деятельности были менее пагубными для природы.

Этот же вывод вытекает и из того обстоятельства, что человек — существо не только общественное, но и сугубо биологическое. Не зная на то, в каких общественных условиях живет человек, его

деятельность не должна противоречить законам природы, ибо противоречить им, это выступать против самого себя, как части этой природы. *Антропоцентризм*, выраженный в афоризмах типа «человек — победитель природы» настолько же бесполезен во взаимоотношениях человека с окружающей средой, сколь и геоцентризм Аристотеля для правильного понимания строения Солнечной системы и планирования космических полетов.

Разумеется, экологические приоритеты не должны абсолютизироваться. Крайности всегда вредны, поэтому существующее в наши дни движение «зеленых» не должно превращаться в движение фанатиков, ибо экология — это наука, а не религия. В разумной *экополитике* на первый план должна выдвигаться особая социальная значимость экологических благ как обеспечивающих максимальную продолжительность и полноценность жизни человека и минимальную его заболеваемость. Однако призывы к немедленному прекращению хозяйственного и иного воздействия на окружающую нас среду тождественны призывам прекращения экономического развития для достижения этих благ. Но для рациональной экополитики нужны крупные капиталовложения, поэтому «сворачивание» экономики может привести еще к большему обнищанию значительной части человечества.

С другой стороны, мы должны помнить предостерегающие слова выдающегося нашего соотечественника В.И. Вернадского, который в самом начале 20-х годов XX века писал «Мы подходим к великому повороту в жизни человечества, с которым не могут сравниться все им раньше пережитые. Недалеко то время, когда человек получит в свои руки атомную энергию, такой источник силы, который даст ему возможность строить свою жизнь, как он захочет. Это может случиться в ближайшие годы, может случиться через столетие. Но ясно, что это должно быть. Сумеет ли человек воспользоваться этой силой, направить ее на добро, а не на самоуничтожение? Дорос ли он до умения использовать эту силу, которую неизбежно должна дать ему наука?».

Ответы на поставленные вопросы пока неоднозначны. Ведь были Хиросима и Нагасаки, атолл Бикини и Семипалатинский полигон. Был, есть и еще долго будет Чернобыль.

Но все же хочется верить в победу добра над злом и вслед за поэтом Михаилом Львовым воскликнуть:

Перед смертельною бездной —
Лучшею из защит
Выставим повсеместно
Разума Вечный Щит!*

* «Правда», 10 августа 1985 г.

Авторы надеются, что данная книга будет их личным вкладом (хоть и небольшим) в создание Вечного Щита Разума.

Оптимальные условия существования и жизнедеятельности человека могут быть созданы только при знании закономерностей, управляющих системами «организмы — среда», «общество — человек — природа». Именно эти закономерности изучает экологическая наука.

Вместе с тем экология относится к числу биологических дисциплин. В то же время научно-техническую политику, особенно в различных областях промышленности, осуществляют инженерно-технические работники, не имеющие специальной биологической подготовки. Сказанное относится также к студентам и техническим и технологическим специальностям вузов.

Поэтому при написании данного учебного пособия авторы стремились дать читателю минимум необходимых биологических знаний, а конкретные проблемы экологии увязывать с инженерными мероприятиями охраны окружающей среды.

С другой стороны, современная экология теснейшим образом переплетается не только с вопросами техники и технологии, но и политики, экономики, духовности, права, медицины, эстетики и ряда других дисциплин. По мере возможности, авторы попытались осветить хотя бы наиболее существенные связи.

Первую книгу «Основ экологии» авторы назвали «Общей экологией». Её отличием от других работ подобного рода является то, что, несмотря на приоритет биологии в данной науке, в ней усилены те части, которые лица с чисто биологическим образованием либо плохо знают, либо излагают формально. Сказанное относится прежде всего к «стыковым» с экологией разделам геологии, биогеохимии, информатики, термодинамики и некоторых других наук.

Авторы учитывали и то обстоятельство, что роль «стыковых» разделов и дисциплин имеет тенденцию возрастания. Не исключено, что уже в ближайшие годы будут заложены основы таких научных направлений как «термодинамика экологических систем», «информатика биосферы» и др. В связи с этим в данной книге специальный подраздел посвящен вопросам энергетики и термодинамики жизни, еще большее значение авторы придают информатике. Действительно, если в процессе развития человечества энерговооруженность индивидуума возросла в десятки и сотни раз, то информационная обеспеченность жизни увеличивается несравнимо более высокими темпами. Н.Ф.Реймерс (1990) указывает, что один лишь математический расчет параметров биосферы требует безмерно большего времени, которое превышает весь период существования нашей планеты как твердого тела. В частности, потенциально возможное разнообразие природы оценивается числами с порядком от 10^{50} до 10^{1000} ; при пока не осуществленном быстроедействии ЭВМ

10^{10} операций в секунду и работе невероятного числа (10^{10}) таких машин процесс вычисления одномоментной задачи варианта из 10^{50} разностей займет 10^{30} с или $3 \cdot 10^{21}$ лет, что почти в 10^{12} раз дольше существования жизни на Земле.

Тем не менее, уже сегодня возможности информационного познания природы человеком находятся на грани фантастики. Так, Л. Джарофф (1990) указывает, что космический корабль «Вояджер-2» собрал о Нептуне больше сведений, чем было известно об этой планете с 1846 года, когда её обнаружил немецкий астроном Иоганн Галле. К тому времени, когда 22-ваттный сигнал «Вояджера» достиг Земли, его сила составляла всего одну двадцатимиллиардную часть мощности, необходимой для работы электронных наручных часов.

Авторы книги наглядно представляют себе угрозу, вытекающую из негативных последствий воздействия человека на природу. Тем не менее, они не относят себя к числу *альяристов*, т.е. представителей течения в экологии, акцентирующих внимание на катастрофическом характере этого воздействия, нехватке природных ресурсов для дальнейшего развития человечества и необходимости принятия немедленных решительных мер для оптимизации системы «природа-общество». Как и любая крайность, нам в одинаковой мере претит и *экологический пессимизм*, и *экологический оптимизм*, особенно опасный в оценке воздействия глобальной войны на среду жизни (рассмотрению этого вопроса посвящен последний раздел книги).

Большинство населения в целом позитивно воспринимает идеи экологии, о чем свидетельствуют многочисленные социологические опросы. Однако это восприятие зачастую носит примитивный характер. В среде руководящих, особенно хозяйственных, руководителей и поныне проявляется *экологический волонтаризм*. Он заключается в стремлении хозяйствовать без учета *экологических ограничений*, представляющих собой «запрет» (ландшафтно-биологический или физико-химический), связанный с происходящим или предполагаемым неблагоприятным воздействием хозяйственного мероприятия на среду жизни или технологические процессы в смежных отраслях хозяйств (наиболее важным экологическим ограничением является существование так называемого *теплового барьера*). Экологический волонтаризм влечет за собой стремление к экстенсификации существующих методов и технологий хозяйствования и отрицание необходимости его интенсификации на новых научно-технических основах. Следствием подобного рода «волевого» подхода является *«экологический бумеранг»* — отрицательное воздействие факторов среды на хозяйственные мероприятия и жизнь человека (эрозия почв, снижение содержания гумуса в почвах, возрастание заболеваемости населения и т.п.).

Вышеизложенное требует усиления *экологического воспитания*, прежде всего, инженерно-технических кадров, а также всего населе-

ния с целью выработки социально-психологических установок и активной гражданской позиции, бережного отношения к природным и социальным благам — природным ресурсам, условиям среды, экосистемам, популяциям и другим объектам, изучаемым экологической наукой. Экологическое воспитание непосредственно связано с *экологическим обучением и экологической пропагандой*.

Как экологическое воспитание, так и экологическое обучение направлены на выработку *экологического реализма*, т. е. правильного, научного понимания характера экологических воздействий на хозяйственную деятельность и жизнь человека. Исходными экологическими посылками для каждого реалистически мыслящего человека служат представления о необходимости ограниченного воздействия на природу, ограниченного её преобразования в результате хозяйствования, сохранения экологического равновесия и природного разнообразия, максимального приспособления (адаптации) человеческого хозяйства и всего уклада жизни общества к условиям природной среды.

В заключение авторы хотели бы отметить, что предлагаемое учебное пособие составлено с учетом международных стандартных программ по экологии и стратегии охраны окружающей среды.

Подразделы 1.2. «Задачи экологии в условиях научно-технического прогресса», 1.7 «Экологические процессы» и 1.8 «Экологические законы» выполнены в содружестве с учеными Украинской инженерно-педагогической академии. Соавтором подраздела 1.2 является Л.А. Штанько, соавторами подразделов 1.7 и 1.8. — М.Г. Леверт и В.П. Романенко.

Подразделы 1.5. «Сообщество и популяция», 3.3. «Экологическая роль процессов горообразования» выполнены в сотрудничестве с учеными Навоийского горно-металлургического комбината и областного научно-производственного центра сельского хозяйства. Соавтором подраздела 1.5 является Ш.М. Рузиев, соавтором подраздела 3.3. — О.Н. Мальгин. Магистрант Ташкентского Государственного экономического университета Ф.Ш. Мурадов является соавтором подраздела 2.2.

Авторы выражают сердечную благодарность Навоийскому горно-металлургическому комбинату за спонсорскую поддержку, рецензентам и коллегам по работе за ценные советы и оказанную помощь при написании пособия.

Эту книгу — итог своего 25-летнего научного сотрудничества авторы посвящают 10-летию Независимости Узбекистана.

Раздел I

ЭКОЛОГИЯ: ПРЕДМЕТ, ЗАДАЧИ, ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ

Наиболее общими и определяющими понятиями в экологии являются, кроме понятия самого предмета, термины «организмы» и «среда».

Под термином «организмы» понимается совокупность объектов, обладающих признаками жизни. Так как проблема грани между живым и неживым, а также происхождения живого из неживого до сих пор не разрешена наукой, термин «организмы» (синоним: «живое вещество») имеет различное толкование — биологическое, экологическое, термодинамическое и т.п.

С экологических позиций (и о геохимических тоже) главной особенностью организмов (живого вещества) является их способность пропускать через себя атомы химических элементов земной коры, гидросферы и атмосферы, осуществлять их сортировку в процессе жизнедеятельности и возвращать окружающей среде все ранее взятое в конце жизненного цикла.

Организмы не могут существовать вне конкретной среды. Однако не любая среда пригодна для их жизнедеятельности, организмы существуют только в достаточно качественной среде. При этом под *качеством окружающей среды* понимается степень соответствия природных условий потребностям человека или других живых организмов.

Первоочередной задачей экологии является обеспечение человека, а также непосредственно и косвенно связанных с ним организмов достаточно высоким качеством окружающей среды или, по крайней мере, недопущение существенного его снижения.

Когда мы говорим «достаточно высокое качество», это означает, что среда должна способствовать устойчивому функционированию

природно сложившейся или преобразованной человеком экологической системы, а также не создавать предпосылок для деградации любых организмов и популяций (в первую очередь, человеческой и жизненно с ним связанных).

Критериями качества среды являются: высокая биологическая продуктивность видов, оптимальное соотношение видов в биомассе и др. (Стадницкий, Родионов, 1988).

Сам же термин «среда» в экологии понимается как совокупность природных или преобразованных тел и явлений, находящихся в прямых или косвенных отношениях с организмами. Понятие «среда» имеет много синонимов производных от этого слова, которые будут рассмотрены ниже.

В данном разделе рассматриваются и другие важные понятия биологии и экологии: экологическая система, биогеоценоз, популяция, экологическая ниша, абиотические и биотические факторы и т.п.

1.1. ЭКОЛОГИЯ КАК НАУКА, ЕЕ ПОДРАЗДЕЛЫ И СВЯЗИ

Термин «экология» и его определение впервые были введены в 1866 г. немецким биологом Эрнстом Геккелем (1834 — 1919). Под экологией он понимал взаимосвязь организмов и среды (*Naeckel*, 1866). Как отмечает М.М. Калинин (1996), самым оригинальным в истории термина является то, что позже Э. Геккель отказался от введенного им названия новой науки, заменив его «экономией природы» и «биономией», а в терминологии несмотря на это все равно закрепился первоначальный вариант названия новой науки — «экология».

Слово «экология» образовано от греческого «ойкос», что означает «дом», «жилище», поэтому в некоторых работах можно встретить термин-синоним «ойкология».

В буквальном смысле слова экология — это наука об организмах «у себя дома». В более строгом смысле экология — это наука об отношениях организмов или групп организмов к окружающей их среде или наука о взаимоотношениях между живыми организмами и средой их обитания. По нашему мнению, в это определение необходимо включить не только отношения или взаимоотношения, но и понятие совокупности организмов и среды (и формирование этой совокупности).

Существуют и другие толкования экологии как науки, в том числе с формированием её задач. Например, по В.А. Радкевич (1977) экология — это наука, исследующая закономерности жизнедеятельности организмов (в любых её проявлениях, на всех уровнях интегра-

ции) в их естественной среде обитания с учетом изменений, вносимых в среду деятельностью человека.

Очень образное определение экологии и её взаимосвязи с другими дисциплинами дано в книге П. Бертокса и Д. Радда (1980). Они ссылаются на работу А. Леопольда (1966), который, стремясь дать наглядное представление о различных сферах деятельности человека, сравнил Землю с рекой, не имеющей ни начала, ни конца («*Round River*»). В свою очередь, название А. Леопольд позаимствовал из народного предания, согласно которому дровосек Поль Баньян случайно обнаружил на севере американского штата Висконсин реку, которая не имела ни истока, ни устья.

Итак, Земля — это *Round River*, по которой мы плывем на плотках из бревен. Изучение причин образования, предотвращения и ликвидации заторов мы называем экономикой, запоминание и изучение старых маршрутов — историей, выбор новых маршрутов — управлением государственными делами, а рассуждения о возможных речных порогах и стремнинах — политикой. Изучение почв, флоры и фауны вдоль русла реки — это биология, а изучение их происхождения и развития во времени — геология и эволюция; практическое использование почв, флоры и фауны — сельское хозяйство и промышленность.

Экология — наука о самой реке с движущимися по ней плотами, т.е. учение о биотической навигации. Поэтому охрану окружающей среды можно рассматривать как предпринимаемые нами меры, чтобы реке не причинялся непоправимый вред.

Если исходить из определения экологии, то она рассматривает Землю как дом, в котором мы живем. Что мы желаем для своего дома? Во-первых, чтобы он был надежным, не разрушился, чтобы его стены и крыша спасали нас от всякого рода непогоды. Во-вторых, в доме должен быть уют, он должен обеспечить хороший отдых после самой изматывающей работы. А еще что? А еще каждый из нас старается свой дом улучшить, а не превращать в проходной двор или склад старья.

Если принять параллель, что Земля — это такой же дом как и Ваш особняк, дача или квартира в многоэтажке, то каждому становится понятнее не только смысловое значение термина «экология», но и основные задачи этой науки.

Экология — биологическая дисциплина. Прежде всего, потому, что в системе «организмы-среда» определяющей компонентой являются организмы как наиболее сложная составляющая системы. В то же время именно эта компонента в определенном смысле является наиболее «слабой», зависимой от среды. Для организмов важна «погода» среды, в то время как «у природы нет плохой погоды». Тем не менее, ухудшение среды обитания, будучи безразличным для сре-

ды, бумерангом бьет по организмам. Среда не воспринимает своего ухудшения, ухудшение воспринимается только организмами. Именно поэтому экология базируется на таких биологических дисциплинах как физиология, генетика, биофизика, эволюционная биология и др. У этих дисциплин позаимствованы многие методы исследований и часть понятийно-терминологического аппарата экологии.

С другой стороны, то, что мы понимаем под компонентой «среда», является объектом изучения геологии, геохимии, гидрологии, географии и других наук о Земле. Следовательно, экологию можно рассматривать как науку, возникшую на стыке биологии и наук о Земле.

Однако практические задачи экологии и охраны природы решаются преимущественно инженерными и химико-технологическими методами (обработка отходов, очистка бытовых и промышленных стоков, использование нетрадиционных источников энергии и др.). Поэтому экология теснейшим образом связана с техническими и технологическими дисциплинами.

В целом экологию следует рассматривать как синтетическую науку, более или менее тесно связанную не только с перечисленными выше, но и со многими другими дисциплинами (экономикой, ядерной физикой, математикой, демографией и т.д.).

Основные взаимосвязи экологии с другими науками схематически показаны на рис. 1.1.

История экологии как науки насчитывает немногим более сотни лет. Это, однако, не означает, что она возникла на пустом месте. Рождение экологии было определено предыдущим развитием научной мысли.

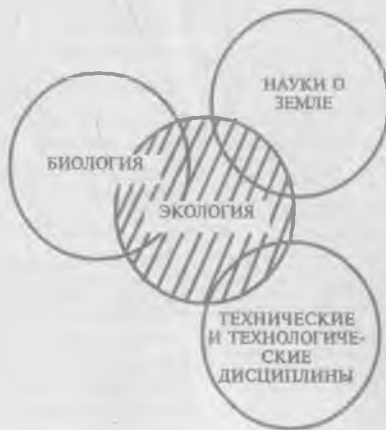


Рис 1.1. Взаимосвязь экологии с другими науками

Например, в работе В.В. Станчинского (1933) указывается, что еще в 1851 г. русский натуралист К.Ф. Рулье указывал на необходимость изучения организмов во взаимном развитии, организации и образе жизни в определенных условиях. Позже эти идеи развивал К.А. Северцов (1855).

Даже после работ Э. Геккеля экология развивалась довольно медленно. Только в начале XX-го века появилась сводная работа по экологии животных (Adams, 1913).

За рубежом существенный толчок развитию экологии дала фундаментальная работа Ч. Элтона (Elton, 1927), а в бывшем СССР — исследования Д.Н. Кашкарова (1933).

В настоящее время экология — бурно развивающаяся наука. И, как любая другая наука, она не только впитывает в себя идеи смежных дисциплин, но и сама претерпевает дифференциацию.

Основные подразделения экологии охарактеризованы ниже, а их взаимосвязи представлены на рис. 1.2.

Общая экология — наука о закономерностях взаимосвязей и взаимодействии организмов и их сообществ со средой обитания (Одум, 1968; Дажо, 1975; Риклефс, 1979 и др.).

Общая экология, в свою очередь, подразделяется на *аутэкологию* и *синэкологию*. Аутэкология исследует отношения и взаимодействия со средой особи какого-либо вида, его популяции и всего



Рис. 1.2. «Дерево» экологических дисциплин

вида, поэтому ее еще называют экологией особей. Этот термин (а несколько позже и термин «синэкология») был введен К. Шретером (*Schroter, Kirchner, 1896*).

Синэкология изучает взаимосвязи разных совместно обитающих организмов друг с другом и с условиями абиотической среды. Синэкологию развивал Д.Н.Кашкаров (1933).

Аутэкология и синэкология теснейшим образом переплетаются с *экологией растений и экологией животных* (или зооэкологией).

Ответвлением последней является *экология человека*. Однако большинство исследователей склонны её выделять в самостоятельную таксономическую ветвь общей экологии, ибо во взаимодействии человека и среды выступают законы социального, экономического и политического характера. Поэтому её еще называют *социальной экологией*.

На стыке экологии и палеонтологии возникла *эволюционная экология*.

В последние десятилетия широкое развитие получила *региональная экология*, которую можно подразделить на *экологию городов, экологию сельского хозяйства и экологию промышленности*. Иногда эти подразделения объединяют в *специальную экологию (или прикладную)*.

От последней отпочковалась *инженерная экология*. Под этим наименованием понимается научная дисциплина, изучающая взаимодействие общества с природной средой в процессе общественного производства (Иванов, 1989).

Объектом исследования в инженерной экологии являются *природно-промышленные системы (ППС)*.

Наконец, отметим еще одну экологическую дисциплину — *глобальную экологию*. Эта научная дисциплина изучает биосферу в целом, т.е. самую крупную экологическую систему, охватывающую весь земной шар. По мнению М.И. Будыко (1977), одна из главных задач современной глобальной экологии заключается в изучении антропогенных изменений природной среды, а также обоснование методов её сохранения и улучшения в интересах человечества.

В стадии становления находятся такие отрасли и направления как *космическая экология, экология клетки, микроорганизмов* и др.

Появление все новых и новых направлений в экологии, её дифференциация свидетельствуют, на наш взгляд, о бурном развитии этой науки.

Чтобы осмыслить сущность и направление дальнейшего развития экологии, целесообразно обратиться к теории информации, в которой всякое познание рассматривается как процесс устранения неопределенности, измеряемой величиной энтропии. Устранение

тания людей, а также предотвращению нежелательных изменений биосферы.

Задачи экологии применительно к деятельности инженера промышленного производства или проектно-конструкторского предприятия Г.В. Стадницкий и А.И. Родионов (1988) формулируют следующим образом: оптимизация технологических, инженерных и проектно-конструкторских решений, исходящих из минимального ущерба окружающей среде и здоровью человека; прогнозирование и оценка возможных отрицательных последствий действующих, реконструируемых и проектируемых предприятий для окружающей среды, человека, животных, растений, сельского, лесного и рыбного хозяйства; своевременное выявление и корректировка конкретных технологических процессов, наносящих ущерб окружающей среде, угрожающих здоровью человека, отрицательно влияющих на природные и антропогенные системы.

Однако здесь же необходимо отметить, что система мер, направленных на поддержание рационального взаимодействия общества и природы, обеспечивающих сохранение и восстановление природных ресурсов, предупреждающих прямые и косвенные негативные влияния результатов деятельности общества на природу и здоровье человека, составляет сущность другой науки — *охраны природы*.

Переплетение задач экологии и охраны природы свидетельствует об их теснейшей связи, поэтому проведение строгой границы между ними невозможно. В грубом приближении экология может рассматриваться в качестве теоретической основы охраны природы. В свою очередь, охрана природы — это практические меры и методы решения экологических задач. В этом смысле появляющиеся время от времени понятия типа «техническая экология», «промышленная экология» и некоторые другие по сути не являются экологическими дисциплинами. Они лишь обеспечивают инженерное решение экологических задач и, прежде всего, главной среди них — сохранение качества природной среды.

Среди важнейших задач, которые решает производство, можно отметить следующие: увеличение выхода полезной продукции и повышение производительности труда. Однако при этом возникают негативные воздействия на природную среду, такие как истощение природных ресурсов, поступление отходов в природные системы и, как результат, деградация и даже уничтожение этих систем (гибель лесов, заморы рыбы, снижение продуктивности сельскохозяйственных угодий, рост заболеваемости населения). Основными источниками негативных процессов в природной среде, кроме промышленного производства, являются теплоэнергетика, транспорт (наземный, водный, воздушный), добыча полезных ископаемых, нефтепереработка и нефтехимия.

Негативные процессы могут быть ослаблены или даже полностью исключены путем решения следующих инженерно-технических задач: создания безотходных технологий, полной утилизации сырья и отходов, совершенствования способов очистки отходов и способов сжигания топлива, использования альтернативных энергоносителей и т.п. Инженерные мероприятия, в свою очередь, обеспечивают решение чисто экологических задач — сохранения природных систем, ограничения поступлений в эти системы химических, тепловых и иных загрязнителей.

1.3. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА И БИОГЕОЦЕНОЗ

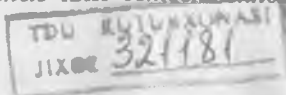
Живые организмы в природе существуют не сами по себе, а в определенной геолого-географической среде и во взаимосвязи с другими организмами. Эта взаимосвязь живого с неживым в экологии характеризуется фундаментальными понятиями «экологическая система» и «биогеоценоз».

Понятие «система» (от греч. *systema* — целое, составленное из частей; соединение) относится к числу общенаучных и обозначает множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом и образующих определенную целостность (единство).

Системам присущи свойства *эмерджентности* (целостности), т.е. такие, которые не наблюдаются у составляющих её элементов. Иными словами, это свойства целого, не выводимые из свойств частей. Например, магнитность сплавов марганца и германия не могла быть предсказана и выведена из свойств этих элементов, так как оба они являются немагнитными. Свойства организмов также не могут быть выведены из свойств соединений углерода, не обладающих признаками живого вещества.

Свойство эмерджентности было известно еще в древности и выражалось в античном принципе: целое больше суммы его частей. С этих позиций невозможен искусственный злодей Франкенштейн (из романа Шелли), так как механическое сосредоточение частей организма никогда не даст целостного организма.

Под экологической системой понимается *взаимосвязанная совокупность совместно обитающих организмов и среды их существования* (Дювиньо, Танг, 1966; Одум, 1975; Воронцов, Харитоновна, 1977; Оуэн, 1977 и др.). Важным признаком экологической системы (или экосистемы) является ее безразмерность (безранговость). Поэтому в качестве примеров такой системы можно привести каплю воды с её бактериальным населением, озеро, луг, степь, лес, биофильтр, кабину космического корабля и т.п. Уже из этого перечисления понятно, что экосистемы могут быть *природные или естественные* и



измененные человеком или искусственные. Глобальной экосистемой является биосфера.

В.Г. Нестеров (1981) различает три типа биолого-экологических систем: *организменно-экологические, ценозо-экологические и общие биоэкологические*. Примерами первого типа могут быть дерево со своим участком пространства, медведь со своей берлогой, личина майского жука со своей сферой обитания и т.п. Ко второму типу относятся участок леса, стадо животных вместе с пастбищем, колония цапель вместе с деревьями и болотом и т.п. Системы третьего типа — комплексные, обозначаемые понятиями степь, озеро, река, море, океан, ледник и т.п., под которыми подразумевается все живое и неживое на поверхности Земли и в окрестностях её в географическом районе или в целой зоне.

В экосистемах осуществляется как внутренний, так и внешний обмен веществ и энергии. Экосистемам свойственны определенные *пищевые цепи*, а также *пищевые (трофические) уровни*. Общая закономерность этих цепей состоит в том, что одни организмы служат пищей другим, которые, в свою очередь, служат пищей третьим и т.д.

Изменения, возникающие во внешней среде, оказывают со стороны экосистемы ответную реакцию, которая может привести либо к устранению этих изменений, либо вызвать перестройку самой экосистемы.

Экологические системы находятся в тесной взаимосвязи с климатом и другими зональными факторами, поэтому они объединяются в характерные природные зоны — *биомы*. По Дж.М. Андерсону (1985), биомы — это определенные физико-географические области биосферы с характерной фауной и флорой. Мировой океан он считает единым биомом, несмотря на то, что он делится на области шельфа, коралловых рифов, а также открытого океана, так как все они чрезвычайно тесно связаны между собой. Классификация биомов суши дана, например, в работе Г. Валтера (*Walter, 1973*). В более широком смысле применяют термин «*биот*» или «*биотическое сообщество*». Под последним термином понимают сообщество взаимосвязанных друг с другом организмов, живущих на определенном участке суши или водоема (Митрюшкин и др. 1987).

Сходным с экосистемой является понятие биогеоценоза. В отличие от экосистемы биогеоценоз — понятие размерное, ранговое, причем размерность ему придает определенный комплекс организмов и условий среды. Биогеоценоз можно определить как однородный участок среды с определенным составом живых (биоценоз) и косных (почва, приземный воздух и др.) компонентов, динамично взаимодействующих между собой (обмен веществом, энергией и информацией).

Биоценоз, в свою очередь, можно определить как совокупность организмов разных видов (растений, животных, микроорганизмов),

населяющих участок среды с более или менее однородными условиями (от греч. «биос» — жизнь, «ценоз» — сообщество). По Л.Б. Рухину (1962), «биоценоз — это исторически сложившаяся совокупность животных и растений, образующая систему, совместно использующую определенное пространство обитания (биотопа) в целях питания, роста и размножения» (с. 413). Посмертные скопления органических остатков называют *танатоценозами* (от греч. «танатос» — смерть).

Термин «биоценоз» в научную практику ввел в 1877 г. К. Мёбиус, определивший его как комплекс организмов, заполняющих определенный участок арены жизни.

Л.Б. Рухин считает, что биоценозы можно группировать в биогеографические районы, провинции, области и зоны. Наиболее крупными по площади являются биогеографические зоны, причем решающим в их образовании является климат. Таким образом, биогеографическую зону можно рассматривать в качестве аналога биома. Одним из первых определение биогеоценоза дал В.Н. Сукачев: «Биогеоценоз — это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира и мира микроорганизмов), имеющая свою особую специфику взаимодействия этих слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией их между собой и другими явлениями природы, представляющая собой внутреннее противоречивое диалектическое единство, находящееся в постоянном движении и развитии» (1964, с. 23). Данный термин введен В.Н. Сукачевым в 1940 г.

Соглашаясь с таким определением в принципе, мы считаем, что оно всё же требует уточнения. Во-первых, биогеоценоз — это не только двухмерная поверхность (земная поверхность), он имеет и определенную «глубину», третью пространственную координату (живые организмы проникают на десятки и сотни метров вглубь Земли). Во-вторых, в определении имеются совершенно лишние слова типа «особая специфика» (иными словами «специфическая специфика») и т.п.

Каково же отношение понятий «биогеоценоз» и «экосистема»?

Это понятия близкие, но не тождественные. В силу своей безразмерности экосистема является более широким понятием, чем биогеоценоз, и может включать несколько биогеоценозов; любой биогеоценоз является экосистемой, и в этом смысле он выступает как бы «атомарной составляющей» экосистемы. В то же время экосистема может быть дробной частью биогеоценоза, т.е. существуют экосистемы, которые не являются биогеоценозами. Наиболее крупной, гло-

бальной экологической системой является биосфера, включающая в себя всю совокупность биогеоценозов земного шара (все биомы или биогеографические зоны).

Близким к понятию экосистемы является широко применяемое в географической науке (ландшафтоведении) понятие *природно-территориального комплекса* (ПТК). Под ПТК обычно понимается закономерное сочетание природных и географических компонентов (земной коры, рельефа, воды, воздушных масс, сообществ живых организмов), образующих целостную материальную систему — комплекс.

Элементарными ПТК являются *фации*, которые в основном соответствуют выделу (площадному распространению) биогеоценозов. По определению Н.Л. Беручашвили (1990), на всем протяжении фации сохраняется одинаковая литология поверхностных пород, одинаковый характер рельефа и увлажнения, один микроклимат, одна почвенная разность и один биоценоз.

Таким образом, в экологии и ландшафтоведении по сути рассматриваются одни и те же природные системы, но акцентируются различные их элементы: в экологии главное — организмы, а среда рассматривается как места их обитания; в ландшафтоведении организмы являются элементом среды, роль которого в ряде случаев может быть весьма незначительной (например, в высокогорных и пустынных ландшафтах).

Фации, как и биогеоценозы, объединяются в более крупные морфологические единицы (таксоны) — урочища, местности, страны и т.п. Природно-территориальный комплекс (ПТК) не следует путать с *территориально-производственным комплексом* (ТПК).

Производственный комплекс представляет собой сочетание предприятий и учреждений, объединенных выполнением определенной народнохозяйственной функции и связанных между собой тесными производственными связями. В результате сопряжения мощностей, устойчивости связей и высокого уровня управления всей совокупностью компонентов народнохозяйственная эффективность производственного комплекса выше, чем суммарная эффективность компонентов, функционирующих изолированно.

Однако в таком определении производственный комплекс еще не связан с территорией. Территориальный комплекс возникает тогда, когда в результате размещения на определенной территории компонентов производственного комплекса возникают новые качества их сочетания, например, сокращаются транспортные расходы, более рационально используются местные ресурсы и т.п. Итак, *территориально-производственный комплекс* (ТПК) — сочетание предприятий (и учреждений), характеризующееся территориальной

общностью их размещения, что способствует дополнительному повышению экономической эффективности функционирования комплекса.

Понятия «комплекс» и «система» близки, при этом понятие «система» является более общим, родовым по отношению к понятию «комплекс» (Алаев, 1983). На этой основе ТПК может быть органически увязан с экосистемами различного иерархического порядка.

Таким образом, главное отличие ПТК от ТПК состоит в замене природной компоненты на производственную.

Близким к понятию биогеоценоза является понятие *географического ландшафта*, который представляет собой сочетание абиотических (неживых), биотических (живых) и антропогенных (порожденных человеком) элементов, развивающихся во взаимодействии. Характерна в этом отношении трактовка ландшафта, данная академиком Л.С. Бергом: «Под именем географического ландшафта следует понимать область, в которой характер рельефа, климата, растительного покрова, животного мира, населения и, наконец, культуры человека сливается в единое гармоничное целое, типически повторяющееся на протяжении известной (ландшафтной) зоны Земли» (1925, с. 7).

Схема взаимодействия компонентов биогеоценоза показаны на рис. 1.3.



Рис. 1.3. Структура биогеоценоза (по В.Н. Сукачеву с изменениями авторов)

Биогеоценоз включает две главные составляющие: совокупность абиотических факторов или *эктоп* (от греч. «топос» — место) и совокупность живых организмов (*биоценоз*). В свою очередь, *эктоп* состоит из климатической (*климатопоп*), почвенно-грунтовой (*эдафопоп*) и водной (*гидропоп*) компонент, а биоценоз включает сообщества растений (*фитоценоз*), животный мир (*зооценоз*) и микроорганизмы (*микробоценоз*). Взаимосвязи (вещественные и энергетические) между *эктопом*, биоценозом и их компонентами на рис. 1.3 показаны стрелками. Эти взаимосвязи характеризуются некоторыми особенностями, которые Н.Ф. Реймерс (1990) называет принципами. Со ссылкой на А. Тинемана, Г. Ранца и Й. Иллиеса он выделяет четыре таких принципа. Первый принцип — *принцип разнообразия*: чем разнообразнее условия биотопа, тем больше видов в биоценозе. Примером проявления первого принципа является тропический лес, где в условиях крайнего разнообразия среды в биоценозе входит огромное число видов. Вторым принцип — *принцип отклонения условий*: чем выше отклонения биотопа от нормы, тем беднее видами биоценоз; зато численность особей отдельных видов выше, чем в первом случае. Это относится, прежде всего, к экстремальным биотопам, например, местам интенсивного загрязнения среды. Третий принцип — *принцип плавности изменения среды*: чем плавнее изменяются условия среды и чем дольше биотоп остается неизменным, тем богаче видами биоценоз и тем более он уравновешен и стабилен. Это — эволюционно-динамический принцип. Он исходит из того, что чем быстрее происходят изменения биотопов, тем труднее видам успеть приспособиться к этим изменениям, что и приводит к обеднению видового состава. Наконец, четвертый принцип — *принцип видо-родового представительства*: богатые видами роды обычно представлены в биоценозе единственным своим представителем. Это вытекает из того факта, что даже два близкородственные вида не могут занимать одну и ту же экологическую нишу в биотопе (определение экологической ниши дано в подразделе 1.4), т.е. четвертый принцип является следствием теоремы Г.Ф. Гауза (подробнее о ней — в подразделе 1.8).

В естественных биогеоценозах (и экосистемах в целом) деятельность входящих в них видов направлена на поддержание среды своего существования. Виды не уничтожают среду, так как это вело бы их к самоуничтожению. Наоборот, деятельность видов направлена на создание (поддержание) среды, пригодной для их жизни и жизни их потомства. Однако такую деятельность все же не нужно абсолютизировать. Например, известно, что растения могут угнетать дочерние поколения, а животные иногда поедают своих детёнышей. Однако суммарный процесс все же идет не по этому направлению.

При достаточно длительных интервалах времени замкнутость сообщества может снизиться, в экосистему проникают чуждые виды. Меняется и сама среда (экотоп). В итоге один биогеоценоз постепенно и закономерно сменяется другим. Это необходимо учитывать и при крупномасштабных воздействиях человека на природу.

Как уже отмечалось выше, биогеоценозы можно рассматривать как «атомарные составляющие» биосферы. Отсюда вытекает и двойственность антропогенного воздействия на природу: в большинстве случаев оно может рассматриваться как воздействие на биогеоценозы, а в исключительных случаях — как воздействие на биосферу в целом. Поэтому, например, правильнее говорить не «загрязнение природы, окружающей среды», а «загрязнение биогеоценоза, биосферы».

Наконец, с позиций свойства эмерджентности лишается всякого смысла однокомпонентный (отраслевой) подход к экологическим системам. Дело в том, что любая экосистема сохраняется лишь при определенном сочетании взаимодействующих экологических компонентов (так, экосистема леса возможна только при достаточной густоте древостоя, соответствующих флоре и фауне, ценозах и т.п.). Рассматривать экосистему именно в таком плане — один из ведущих принципов экологического мышления.

Это особенно важно учитывать при моделировании экосистем. Такие модели всегда механистичны и не адекватны своему природному прототипу. Отсюда столь неудачные машинные прогнозы состояния Каспийского моря, отделения перемычкой залива Кара-Богаз-Гол от Каспийского моря и других проектов.

К сложным экосистемам типа совокупность, множество, группа и т.п. не применимо качество управляемости, ибо между их компонентами отсутствуют какие-либо связи. Управляемостью обладают лишь объекты типа сочетание, система, сообщество, так как в них один (или большее количество составляющих компонентов) реагирует на управляющее воздействие.

С функциональной точки зрения в любом биогеоценозе можно выделить следующие основные компоненты (Пономарева, 1978):

1. Комплекс *абиотических составляющих*. Именно из этого комплекса биоценоз черпает средства для существования и размножения а также в него выделяет продукты жизнедеятельности. Наиболее важными составляющими и факторами этого комплекса являются горные породы, почвы, воздух, влага, температура и свет. Таким образом, в отличие от формально-вещественной структуры биогеоценоза (см. рис. 1.3) с функциональных позиций биотоп выступает как более или менее единое целое.

2. Комплекс *первичных продуцентов*. В этот комплекс входят автотрофные хлорофиллоносные растения, а также фото-и хемосинтезирующие бактерии. Перечисленные организмы ассимилируют сол-

нечную энергию в процессе фотосинтеза и продуцируют органическое вещество (углеводы, белки, жиры), обеспечивая им (следовательно, и накопленной солнечной энергией) все остальные организмы биоценоза. В наземных экосистемах основными продуцентами являются покрытосеменные (цветковые) растения, в водной среде — планктонные водоросли.

3. Комплекс *консументов*. В комплекс входят животные и бесхлорофильные растения (гетеротрофы), живущие за счет органических веществ, создаваемых первичными продуцентами. Среди консументов различают *биофаги* (организмы, питающиеся живым органическим веществом) и *сапрофаги* (используют органическое вещество отмерших организмов). Биофаги, в свою очередь, подразделяются на *фитофаги*, *хищники* и *вершинные хищники*. К биофагам или первичным консументам относят растительноядные виды животных, а также паразиты зеленых растений (животные и растения). Среди растительноядных животных в наземной среде преобладают насекомые, грызуны и копытные, а в водной среде — мелкие ракообразные и моллюски. К хищникам или вторичным консументам относят плотоядных (включая всеядные) животных, которые питаются первичными консументами, а также паразиты первичных консументов. Наконец, завершают ряд консументов вершинные хищники или третичные консументы, питающиеся вторичными консументами (хищники хищников), хотя они и не являются единственным видом их корма. Состав вторичных и третичных консументов весьма разнообразен: хищники, паразиты, трупоеды. В принципе ряд консументов может быть продолжен и дальше (паразиты третичных консументов и т.п.).

4. Комплекс *биоредуцентов* или *деструкторов*. В этот комплекс входят организмы, разлагающие органическое вещество вплоть до минерального состояния. Это в основном различные микроорганизмы (бактерии, дрожжи, простейшие, грибы-сапрофиты). Они поселяются в трупах, экскрементах, на отмирающих растениях, в неживом органическом веществе, разлагая их.

Таким образом, каждый живой организм или их совокупность выполняет определенную биологическую функцию, являясь либо начальным звеном процесса, либо промежуточным звеном, либо завершая процесс. Такая взаимосвязанная деятельность организмов во взаимодействии с абиотической средой (экотопом) и обеспечивает существование биогеоценоза как достаточно устойчивой компоненты экосистем, включая биосферу в целом.

Идеи биогеоценологии получили развитие в работах Е.М. Лавренко, В.Б. Сочавы (1956), В.Д. Александровой (1973), Н.В. Дылис (1978), М.А. Голубца (1982) и других авторов.

1.4. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НИША, ЖИЗНЕННАЯ ФОРМА И АРЕАЛ

Положение и роль вида растений, животных и других организмов в биогеоценозе (в связи со специализацией вида) называют *экологической нишей*.

Г.В. Стадницкий и А.И. Родионов экологическую нишу определяют как «совокупность множества параметров среды, определяющих условия существования того или иного вида, и его функциональных характеристик» (1988, с. 51).

Сам термин «экологическая ниша» впервые был предложен американским ученым И. Гринеллом в 1917 г. Большинство ученых он применяется для характеристики вида в пространстве, образа его жизни и способа питания. По К.М. Сытнику с соавторами (1987), понятие «экологическая ниша» включает физическое пространство, занимаемое организмами вида, их функциональную роль в сообществе, положение относительно градиентов факторов внешней среды (освещенности, влажности, температуры, кислотности или солености почвенного раствора и т.п.), а также их морфоструктурную приспособленность, физиологические и поведенческие реакции. В пределах экологической ниши данный вид практически не конкурирует с другими видами за использование источников питания и энергии. Совокупность необходимых для его существования условий достаточна для того, чтобы исключить существенное противодействие другого вида данного биоценоза. Количество особей данного вида и его биомасса в экологической нише является максимальной, поэтому такой вид часто является преобладающим или доминантным.

Один и тот же вид может занимать различные экологические ниши в различных частях своего распространения. С другой стороны, одна и та же ниша в различных географических пунктах может быть занята различными видами. Некоторые экологические ниши (например, на островах) могут длительное время оставаться вакантными.

Сказанное относится и к внутривидовым формам (или экологическим типам), различающимся физиологически, морфологически и экологически в связи с приспособлением к определенным ландшафтам и биотопам.

Еще одной особенностью экологической ниши является степень *биологической специализации* данного вида. Например, красные водоросли существуют на больших глубинах моря по сравнению с другими видами водорослей, так как благодаря наличию дополнительного пигмента они способны поглощать зелено-голубую часть солнечного спектра, недоступную для других водных фототрофов.

Специализация проявляется и в тех случаях, когда несколько видов живут в одних и тех же условиях. Совместное их существование обусловлено тем, что они или питаются разной пищей или активны в разные периоды суток (или то и другое вместе). Например, в водоеме водяные клопы-гладыши ведут хищнический образ жизни, а клопы-греблянки питаются мертвыми разлагающимися организмами.

Группу видов со сходными чертами приспособления к среде, близкими основными морфологическими чертами и поведенческими признаками в одинаковых условиях среды принято называть *жизненной формой*. При этом разные виды могут быть далеки в систематическом отношении, но обладать одинаковыми *адаптациями* (однонаправленными приспособлениями к обитанию в определенных условиях среды).

Для растений наиболее характерны различные морфофизиологические адаптации, сформированные в качестве защиты от неблагоприятных температурных воздействий. Широко известна система жизненных форм растений, предложенная датским биологом К. Раункиером и основанная на расположении почек возобновления или верхушек побегов по отношению к поверхности почвы в неблагоприятное время года. Эта система включает пять групп растений (Культиасов, 1982):

1. *Фанерофиты* — почки возобновления расположены высоко над поверхностью почвы (не ниже 30 см) и хорошо защищены от вымерзания и зимнего иссушения (благодаря чешуйкам и смолистым выделениям). К этой группе относятся деревья, кустарники, лианы, эпифитные растения.

2. *Хемофиты* — невысокие растения, почки возобновления у которых на зимующих побегах расположены на высоте 20–30 см над уровнем почвы, что обеспечивает их зимовку под защитой снежного покрова. Это различные кустарнички и полукустарнички. К ним относятся, например, брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), черника (*Vaccinium myrtillus*), барвинок (*Vinca minor*), и др.

3. *Гемикриптофиты* — травянистые многолетники, у которых основная часть наземных органов отмирает, прикрывая почки возобновления, находящиеся на уровне почвы. Пример: крапива двудомная (*Urtica dioica*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*) и др.

4. *Криптофиты* — почки возобновления и верхушки видоизмененных побегов находятся под Землей или в ином субстрате. Выделяются три подгруппы этой обширной группы растений: *геофиты* — зимующие почки расположены на подземных органах (луковицах, корнеплодах, корнях); *гелофиты* — растения прибрежных и болотистых местообитаний, зимующие почки которых находятся ниже дна водоемов; примеры: стрелолист (*Sagittaria saggitifolia*), ча-

стуха (*Alisma plantago-aquatica*), сусак зонтичный (*Buttonus umbellatus*) и др.; гидрофиты — водные растения с плавающими или погруженными листьями; почки возобновления у них зимуют на дне водоема на многолетних корневищах (кувшинка белая — *Nymphaea alba*) или в виде специализированных почек — туррионов (ряска малая — *Lemna minor*) и др.

5. *Терофиты* — однолетние растения, переживающие сухой или холодный период в виде семян или спор, снабженных морфологическими или физиологическими приспособлениями эффективного противодействия неблагоприятным условиям.

Количественное распределение перечисленных групп растений по климатическим зонам (в процентах) составляет их биологический спектр (Горышина, 1979).

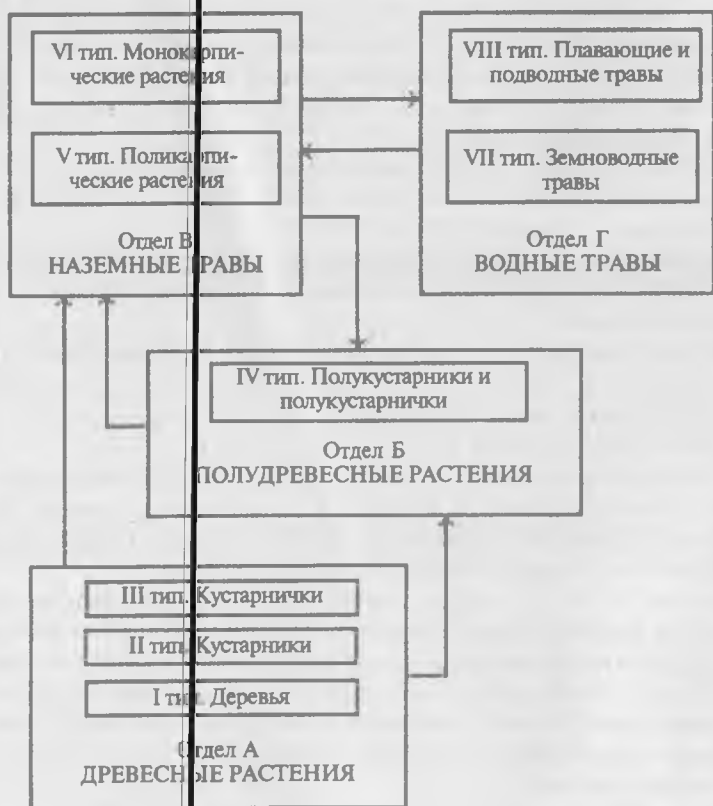


Рис. 1.4. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных растений (по И.Г. Серебрякову)

Классификация жизненных форм покрытосеменных и хвойных растений разработана И.Г. Серебряковым (Pagkebur, 1977). Его классификация включает четыре отдела и восемь типов жизненных форм (рис. 1.4). Выделение отделов основано на структуре наземных осевых органов, а выделение типов — на относительной длительности жизни наземных осей (древесные) или на длительности жизни растений в целом (наземные травянистые растения).

Жизненные формы растений, как и виды в экологической нише, могут доминировать в сообществе. Поэтому их считают *индикаторами условий обитания*, важнейшим среди которых является температурный фактор.

При выделении жизненных форм животных принимают во внимание не только их приспособленность к температуре, но и другие факторы. Например, на морфологию млекопитающих в наибольшей степени влияет характер их передвижения в разных средах. На этом основании выделено пять адаптивных групп этих организмов (Чернова, Былова, 1981): наземные, подземные (землерои), древесные, воздушные и водные формы.

Широко известна также классификация жизненных форм животных, предложенная Д.Н. Кашкаровым (1945). Этот автор выделяет следующие группы и подгруппы:

1. Плавающие формы. Делятся на водные и полуводные.
2. Роющие формы. Подразделяются на относительных и абсолютных землероев.
3. Наземные формы — не делающие нор, делающие норы и животные скал.
4. Древесные лазающие формы.
5. Воздушные формы.

Из приведенных выше данных видно, что пути адаптации жизненных форм растений и животных, имея общие черты, все же различны по комплексу факторов. Поэтому имеет смысл рассмотреть несколько подробнее механизм адаптации.

В основе этого механизма лежат ответные реакции организмов на влияние условий среды. В большей мере это касается растительности. Если животные ввиду своей подвижности могут уходить из среды с неблагоприятными условиями, то растения такой способности лишены. По этой причине они «обречены» именно на адаптационное преодоление неблагоприятных воздействий среды. Это возможно благодаря пластичности структуры и функций растительных организмов, что способствует выработке приспособительных изменений строения и процессов жизнедеятельности (Горышкина, 1979). Основные виды адаптации систематизированы в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Адаптации и их сущность

Вид адаптации	Содержание и механизм адаптации
1	2
Морфологическая	Осуществляется на уровне клетки, тканей и целого организма. Включает перестройку формы, размеров клеток и их органелл, изменение проводящих и ассимиляционных тканей, а также размеров тела и соотношения его органов
Поведенческая (этологическая)	Строение убежищ, перемещение в среду с более благоприятными условиями
Физиологическая и биохимическая	Основана на способности организмов изменять интенсивность и направленность физиолого-биохимических процессов, повышать уровень устойчивости к факторам среды
Температурная	Включает морфофизиологические изменения, сформированные в процессе эволюции в качестве защиты от неблагоприятных температурных воздействий (расположение почек возобновления, выработка соответствующей временной организации жизненных процессов)
Хроматическая	Основана на свойстве водных растений изменять состав своего пигментного комплекса в зависимости от глубины и, соответственно, изменившихся спектральных световых условий местообитания
Биологическая*	Обеспечивает эффективность размножения организмов (высокая семенная продуктивность, вегетативное размножение, приспособления к распространению семян и т.п.).
* Адаптация спорная, так как может быть выведена из морфологической и (или) физиолого-биохимической.	

Перечисленные в табл. 1.1 адаптации по глубине и значимости могут подразделяться на модификационные, наследственные (фенотипические) и наследственно закрепленные (генотипические).

Итак, рассмотренные выше материалы свидетельствуют о тесной взаимосвязи понятий «экологическая ниша», «жизненная форма» и «адаптация». В связи с этим определенный интерес представляют попытки моделирования экологической ниши. Одна из таких моделей в общих чертах описана Г.В. Стадницким и А.И. Родионовым (1988). Она представляет собой комбинацию нескольких координатных систем трехмерных пространств факторов с общей точкой

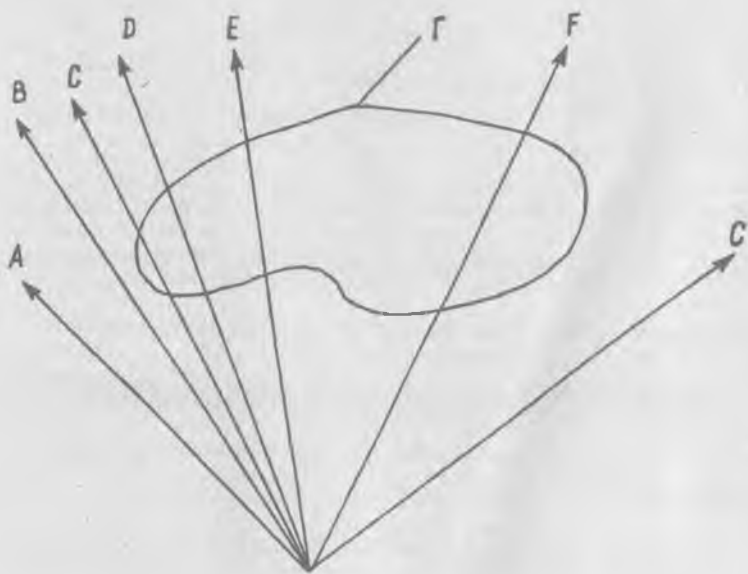


Рис. 1.5. Математическая модель экологической ниши:
A, B, C, D, E, F, G — координаты факторов; *Г* — гиперповерхность ниши

отсчета, причем в каждой из систем экологическая ниша представляется параллелепипедом разных размеров. В этом недостаток данной модели, так как для N факторов мы получаем $N/3$ ниш, никак не увязанных друг с другом. Более целесообразно рассматривать не комбинацию трехмерных пространств, а математическое многомерное пространство факторов (рис.1.5).

В этом случае экологическая ниша будет представлена не совокупностью параллелепипедов, а гиперповерхностью сложной формы. Гиперповерхность может быть найдена методами многомерного статистического анализа с использованием ЭВМ. Методы такого анализа описаны, например, в наших работах (Каретников, Валуконис, 1972; Валуконис и др., 1976 и др.).

В завершение данного подраздела рассмотрим еще одно понятие «ареал», находящееся в теснейшей связи с уже рассмотренными.

Под ареалом понимается ограниченная область распространения какого-либо вида, рода, семейства растений или животных, а также любой совокупности взаимосвязанных друг с другом организмов.

В толковании термина «ареал» нет единого подхода. Так, Н.Ф. Реймерс приводит четыре разные его определения: «ареал — область распространения: 1) систематической группы животных организмов (вида, рода и т.д.); 2) определенного типа сообществ; 3) сходных условий; 4) сходных объектов (населенных мест и т.п.)» (1990, с. 23).

Границы ареала обуславливаются естественными преградами (горы, моря, реки), а также такими природными факторами как климат, почва, пищевые ресурсы для организмов и др. В наши дни на его формирование все более ошутимое влияние оказывает деятельность человека.

Организмы, имеющие обширные ареалы, именуются *космополитами*, а те, которые живут на небольших участках, — *эндемиками*.

Термин «ареал» имеет множество более узких значений. Некоторые из них приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Вариации термина «ареал»

Наименование ареала	Его признаки
Естественный	Не измененный человеческой деятельностью
Искусственный	Расширенный или искусственно сформированный человеком
Первичный (автохтонный)	Область изначального формирования вида или иных сообществ организмов
Реликтовый	Ареал вида, чуждого современным климатическим или другим условиям местности
Сокращающийся (сужающийся)	Ареал вида или сообщества, уменьшающийся по естественным или антропогенным причинам. Животные и растения с таким ареалом берутся под защиту и вносятся в Красные книги государств
Трофический	Часть ареала вида, где он питается, но не размножается (например, места зимовок перелетных птиц)
Экологический	Область, где вид может обитать в связи с наличием подходящих для него условий вне зависимости от того, где расположена эта область и отделена ли она естественными барьерами

Менее употребительными вариациями термина «ареал» являются: ареал прерывистый, расширяющийся, сплошной, современный, сезонный и т.п. Их смысл пояснений не требует.

Понятие «ареал» имеет и более широкое толкование. В частности, ареал, в пределах которого наблюдается возмущения в природной среде (биосфере), тоже называется *экологическим ареалом*.

Понятие «ареал» относится к элементарным (наиболее простым) территориальным категориям экологии. Более сложными территориальными категориями являются регион, район, зона и др.

Под *регионом* (или *районом*) вслед за Э.Б. Алаевым (1983) мы понимаем *геоторию* (территорию или акваторию), по совокупности насыщающих её элементов отличающуюся от других геоторий и обладающую единством, взаимосвязанностью составляющих элементов, а также целостностью, причем эта целостность — объективное условие и закономерный результат развития данной геотории.

1.5. СООБЩЕСТВО И ПОПУЛЯЦИЯ

Между понятиями «*сообщество*» и «*популяция*» существует примерно такое же соотношение как между понятиями «*экосистема*» и «*биогеоценоз*»: если «*сообщество*» — величина безразмерная (вне-масштабная), то понятие «*популяция*» ограничено рамками биологического вида.

Под сообществом понимается любая совокупность совместно существующих организмов (обычно это сравнительно мелкие группы растений и животных). Связь любого сообщества с экосистемой и биогеоценозом зависит от выбора границ сообщества.

Если границы совпадают с границами биогеоценоза, то термин «*сообщество*» можно рассматривать как синоним термина «*биоценоз*». В этом случае в связи с тремя составляющими биоценоза можно выделить и три сообщества организмов (растений, животных и микроорганизмов), хотя ввиду их тесной взаимосвязи полное разграничение весьма проблематично.

Согласно С.С. Шварцу (1970), *популяция* — это элементарная группировка организмов определенного вида, обладающая всеми необходимыми условиями для поддержания своей численности необозримо длительное время в постоянно изменяющихся условиях среды.

По Г.В. Стадницкому и А.И. Родионову (1988) популяцией называют совокупность особей одного вида, населяющих определенное пространство, внутри которого осуществляется та или иная степень обмена генетической информацией (*панмиксия*). Из этого определения вытекает, что живые организмы более или менее длительное время могут существовать только в форме популяций. Очевиден также и вывод о том, что популяция является составляющей экосистем и биогеоценозов (биокомпонентой). По К.М. Сытнику с соав-

торами (1987), организованная группа популяций, растений и микроорганизмов, приспособленных к совместному обитанию в пределах определенного объема пространства, и есть не что иное, как сообщество или биоценоз, т.е. биоценоз является понятием более высокого ранга, чем популяция.

В то же время нельзя согласиться с утверждением Дж.М. Андерсона (1985) о том, что популяция является самой низкой ступенью в иерархии экосистем. Например, если в качестве экосистемы рассматривать цветочный горшок с кактусом, то последний никак нельзя рассматривать как всю популяцию данного вида кактусов.

Кроме *популяций экологических*, находящихся в однотипных условиях обитания, выделяют также популяции географические, приуроченные к определенным географическим областям. Эти популяции находятся в определенном соотношении. Так как в различных частях ареала, занимаемого видом, наблюдаются разные условия, Н.П. Наумов (1963) предложил концепцию *иерархии популяций* и предложил следующую их классификацию в зависимости от занимаемой ими территории:

1. *Элементарная или локальная популяция* — совокупность особей вида, занимающих небольшой участок однородной площади. Количество таких популяций зависит от разнообразия условий экосистемы.

2. *Экологическая популяция* — совокупность элементарных популяций (внутривидовых группировок), приуроченных к конкретным экосистемам и биогеоценозам.

3. *Географическая популяция* — совокупность экологических популяций, заселяющих значительную территорию с географически однородными условиями существования. В пределах географической популяции наблюдается единый ритм жизненных явлений и другие функциональные особенности, создающие морфофизиологический тип, отличающий данную популяцию от соседних, находящихся в иных географических условиях.

Практически аналогичных взглядов на соподчиненность группировок особей внутри популяций придерживается и И.Н. Пономарева (1975). Её представления иллюстрируются рис. 1.6.

И все же мы склонны предпочтению отдавать популяции как понятию экологическому. Прежде всего потому, что у популяции есть генетическая характеристика, связанная с её экологией (прежде всего, это — способность к адаптации). Кроме того, популяции характерна устойчивость — способность длительное время сохраняться (производить потомства) в данных (или эволюционирующих) условиях среды. Схожих взглядов придерживаются и другие авторы (Лаптев, 1970, 1979; Смольянинов, Рябуха, 1971; Новиков, 1976 и др.).

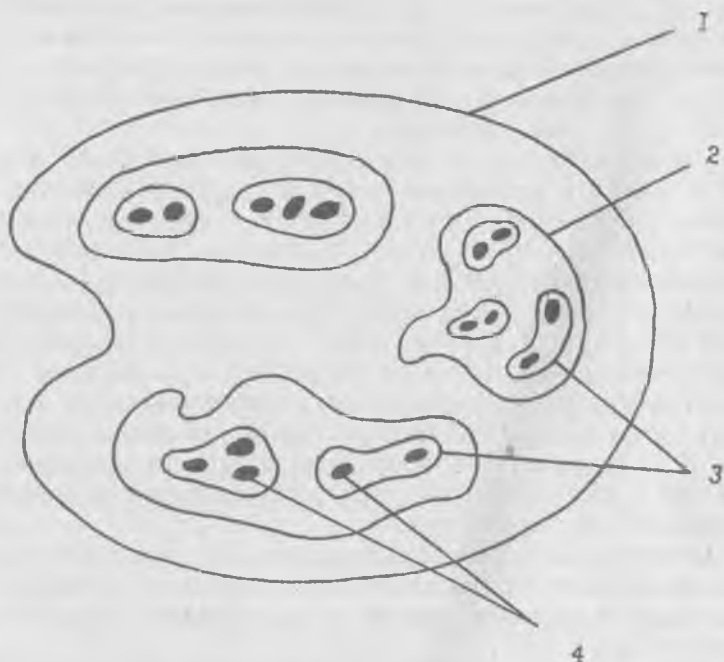


Рис. 1.6. Пространственное подразделение популяции (по И.Н. Пономаревой, 1975):

1—ареал вида; 2—географическая популяция; 3—экологическая (местная) популяция; 4—микрораспуляция (элементарная)

Как биологическая единица, популяция обладает определенной структурой и функцией. Структура популяции включает такие её показатели как численность и плотность (распределение особей в пространстве), соотношение групп по полу, возрасту, их морфологические, поведенческие и другие особенности. Структура популяции определяется экологической нишей данного вида, а именно — соответствием условий местообитания (режимов факторов среды) требованиям (т.е. толерантности) слагающих популяцию организмов. Структура популяций и размеры их ареалов учитываются при организации охотничьих хозяйств, определении границ заповедников, природных национальных парков и заказников.

Численностью популяции называется общее количество особей на данной территории или в данном объеме. Различают непериодические и периодические колебания численности популяций. Отрицательное влияние человека на популяцию может привести к резкому снижению количества особей. Крайний случай — уничтожение (геноцид) вида (особенно, если он состоит всего из одной

популяции). Так произошло с еще совсем недавно существовавшими видами — стеллеровой коровой, странствующим голубем, туром (европейским быком).

Плотность популяции — среднее число особей на данной территории или в объеме. Различают также *экологическую плотность*, под которой понимают число особей (или их биомассу) на единицу заселенного пространства. При увеличении численности популяции ее плотность возрастает (если нет расселения). Для каждого вида существуют оптимальные значения плотности популяции.

Важнейшими внутрифункциональными показателями популяции являются *рождаемость* и *смертность*. Важнейшими факторами, регулирующими соотношение между ними, является степень взаимодействия с другими организмами (конкурентами, хищниками, паразитами), а также климат и другие абиотические факторы.

Способность популяции возвращаться в равновесное состояние называется *гомеостазом*, регулируемым посредством положительных и отрицательных обратных связей. Таким образом, популяция обладает свойствами кибернетических систем — способностью к саморегуляции, самоорганизации и самовоспроизведению.

Механизм гомеостаза популяции животных показан на рис. 1.7.

Из рассмотрения этого рисунка видно, что при преобладании положительных обратных связей происходит рост численности особей. В дальнейшем этот рост приостанавливается вследствие ограниченности ресурсов питания и воздействия отрицательной обратной связи. Затем, как говорят, маятник движется в обратную сторону.

Таким образом, экологические системы, включая популяцию, находятся в динамическом равновесии, практически не достигая статического равновесия. Дж.М. Андерсон (1985) это объясняет сложностью регулирующих механизмов и запаздыванием их действия.

Более подробно функционирование популяций будет рассмотрено ниже (см. раздел 5).

Здесь же отметим, что с общебиологической точки зрения популяция представляет самостоятельный уровень организации живой материи, такой же, как клетка или организм. Поэтому популяция характеризуется не только структурой, отличной от структуры других биологических объектов, но и специфическими закономерностями функционирования, только ей присущими.

С позиций экологии человеческое общество также следует считать популяцией. Несмотря на то, что человеческое общество имеет специфическую структуру и особые законы деятельности, оно генетически, эволюционно и функционально связано с природой. Чтобы существовать, человек должен производить, а для этого — вступать в определенные отношения с окружающей его средой. Не вызывает сомнения, что человеческое общество представляет особый социальный организм, но в то же время оно является одной из



Рис. 1.7. Гомеостаз в популяции животных, регулируемый доступностью пищевых ресурсов (по Дж.М. Андерсону, 1985)

популяций животного мира; даже в элементарном биологическом смысле человек не может существовать вне взаимодействия с абиогенной и биогенной средой (нужен кислород атмосферы, чтобы дышать, нужна вода — основной компонент его тела и системы обмена веществ, нужны другие организмы — в качестве пищи и т.п.).

Однако от других популяций человечество отличается двумя главными особенностями. Во-первых, человеческая популяция обладает коллективным разумом. Во-вторых, благодаря научно-техническому вооружению, мощность воздействия человека на природу в сотни и тысячи раз превышает его биологические возможности; по сути, другие популяции животных неконкурентны популяции человека.

Из этих особенностей вытекает и двойственность отношений человека с окружающей его средой. С одной стороны, он способен улучшать, облагораживать среду, превращать биосферу в ноосферу В.И. Вернадского. А с другой стороны, обладая невиданной доселе мощностью, человек способен погубить любую популяцию животных и растений, разрушить не только собственный природный «дом», но и биосферу в целом — дом всего человечества.

1.6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ИХ ДЕЙСТВИЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Окружающая организм или сообщество организмов среда характеризуется разнообразием динамичных во времени, пространстве элементов и условий, которые можно объединить обобщенным термином — *факторы*. Фактор представляет собой движущую силу процесса или его условие, влияющее на процесс, либо существенное обстоятельство в каком-либо процессе или явлении.

Среди множества факторов может быть выделена группа *экологических факторов*.

Экологический фактор — это любое условие среды, способное оказывать прямое или косвенное влияние на живые организмы хотя бы на протяжении одной из фаз их индивидуального развития (Стадницкий, Родионов, 1988).

Имеются и другие определения экологического фактора. Так, Н.Ф. Реймерс (1990) под экологическим фактором понимает любое условие среды, на которое живое реагирует приспособительными реакциями.

Существует множество понятий, терминологически близких к понятию «экологический фактор», или связанных с ним (табл. 1.3).

Фактор среды ощущается организмом в определенных пределах, именуемых *интервалом* или *зоной толерантности*. При этом под *толерантностью* понимается способность организмов выносить отклонения от оптимальных для них значений данного фактора. За пределами зоны толерантности лежат *летальные* значения фактора (см. табл. 1.3).

Важнейшие факторы и их характеристика

Наименование фактора	Сущность фактора (или сфера его действия)
Антропогенный	Связан с влиянием человека на что-то (в экологии — с воздействием на окружающую его среду).
Атмосферный	Связан с химическим составом, физическим и динамическим состоянием атмосферы.
Биогенный	Совокупность биологических, биотических и биоценологических факторов.
Биологический	Связан с организмом или группой организмов (например, влияние хищника на численность жертв).
Биосферный	Связан с влиянием биосферы в целом.
Биотический	Связан с воздействием живых организмов на среду (образование известняка-ракушечника, ископаемых углей и т.п.).
Биоценологический	Связан с совокупным действием живых организмов биоценоза.
Вредный	Любое воздействие, неблагоприятно влияющее на человека и окружающую его среду.
Вторичный	Является следствием первичного фактора.
Генетический	Связан с генетическим кодом организма.
Географический	Связан с географическим положением места воздействия.
Геоморфологический	Связан с особенностью форы местности.
Геофизический	Связан с физическими особенностями данного участка поверхности или недр Земли, а также атмосферы и водной среды.
Избирательный	Действующий на одни организмы и не оказывающий заметного влияния на другие.
Исторический	Его современное влияние связано с историческим развитием организма.
Летальный	Приводящий живой организм к гибели.
Первичный	Исходное воздействие.
Социальный	Обусловлен общественными отношениями между людьми или наличием социальноподобной структуры у животных (муравьи, термиты, пчелы и др.).
Техногенный	Связан с воздействием технических средствами.
Эволюционный	Связан с прошлыми геологическими эпохами.
Экстремальный	Связан с воздействиями, сила которых превышает обычные приспособительные реакции.

Экологические факторы среды делятся на две категории: факторы неживой природы или *абиотические* и факторы живой природы или *биотические*.

Более дробная классификация экологических факторов среды предложена И.Н. Пономаревой (1978). Данная классификация представлена в табл. 1.4.

Классификация экологических факторов среды

Группа фактора	Индивидуальный фактор
Абиотические	
Климатические Эдафогенные (почвенные) Орографические Химические	Свет, температура, влага, движение воздуха, давление Механический состав, влагоемкость, воздухопроницаемость, плотность Высота над уровнем моря, экспозиция склона Газовый состав воздуха, солевой состав воды, концентрация, кислотность и состав почвенных растворов
Биотические	
Фитогенные Зоогенные Микробиогенные Антропогенные	Растительные организмы Животные Вирусы, простейшие, бактерии, риккетсии Деятельность человека

Существуют и другие классификации факторов. Например, по периодичности выделяют факторы периодичные и непериодичные, по происхождению — космические, биологические и др., по среде возникновения — водные, воздушные, литосферные и др., по характеру — информационные, энергетические, вещественные, комплексные и др., по объекту воздействия — индивидуальный, групповой и др., по степени воздействия — экстремальный, мутагенный и др.

Факторы среды действуют не изолированно друг от друга, а совместно (комплексно). Однако их совместное действие неравноценно (Пономарева, 1978). Среди них выделяют *главные* или *ведущие* и *второстепенные* (сопутствующие, фоновые). Ведущие факторы являются необходимыми для жизнедеятельности живых организмов. Для разных видов ведущие факторы могут быть разными. Смена ведущих факторов может происходить и в зависимости от стадии развития организма. Так, для растений — эфемеров в период цветения главный фактор — свет, а в период формирования семян — влага и т.п.

Когда мы говорим об экологических факторах, это не следует понимать так, что они действуют только однонаправленно. Существует и обратная связь, т.е. организмы могут изменять экологические факторы среды, в том числе и абиотические. Так, при уничтожении саранчой растительности изменяются ветровой режим, влажность, температура и другие характеристики данной местности. Хорошо известен также тот факт, что в городах, где наиболее актив-

но проявляется деятельность человека, формируется свой особый микроклимат и т.п.

Условия, при которых вид имеет наибольшую жизнеспособность, а данное сообщество — преимущества перед другими, получили название *экологического оптимума*.

Известны и другие закономерности, действующие в системе «организм — факторы среды». Так, немецкий химик Ю. Либих, один из основоположников агрохимии, еще в 1840 г. высказал идею о том, что существование и выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей (*закон Либиха*). Он указывал, что величина урожая определяется количеством в почве того из элементов питания, потребность растения в котором удовлетворена меньше всего, иными словами, данный элемент находится в минимальном количестве. Поэтому в специальной литературе этот закон еще носит название *«закона минимума»*.

Согласно этому закону дальнейшее снижение содержания дефицитного элемента питания ведет к гибели организма или деструкции экосистемы. При повышении содержания данного элемента в почве урожай будет возрастать до тех пор, пока не окажется в минимуме другое питательное вещество.

В дальнейшем в закон Либиха были внесены поправки и изменения (Одум, 1975). Так, в настоящее время доказано, что этот закон строго применим только в условиях стационарного состояния, когда существует равновесие между притоком и оттоком вещества (и энергии). Установлено также дополнительное правило взаимодействия факторов, имеющее существенное значение при экологическом прогнозировании и проектировании: организм в определенной мере способен заменять недостающее вещество или другой действующий фактор иным функционально и химически близким веществом или другим фактором (о взаимодействии факторов см. ниже).

В данном подразделе мы уже упоминали термин «зона толерантности». Этот термин теснейшим образом связан с *принципом лимитирующих (ограничивающих) факторов*, в общих чертах еще в 1905 г. установленный Ф. Блекманом (Кульгасов, 1982). Суть принципа состоит в том, что лимитирующие факторы могут свести на нет положительное влияние других факторов. При этом существование организма определяется не только минимальным значением, но и избытком фактора. Впервые на это обстоятельство обратил внимание в 1913 г. американский зоолог В. Шелфорд, который и сформулировал *закон толерантности*. В соответствии с этим законом лимитирующим фактором процветания организма (вида) может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, диапазон между которыми определяет величину выносливости (толеран-

тности) организма (вида) к данному фактору. Интервал между минимумом и максимумом, как уже отмечалось выше, именуется зоной толерантности. Однако в экологической литературе существуют и другие его определения — амплитуда толерантности и т.п.

В целом можно утверждать, что закон толерантности В. Шелфорда является более общим по отношению к закону минимума Ю. Либиха и принципу лимитирующих факторов Ф. Блекмана. Закон толерантности имеет большое практическое значение. Согласно этому закону, любой избыток вещества следует рассматривать как загрязнение среды. Даже вода, так необходимая в засушливых районах, в избыточных количествах вредна и приводит к засолению почв, а иногда и заболачиванию орошаемых земель. Недостаток некоторых элементов в пище человека (йода, фтора) — основная причина зубной болезни и кариеса. Однако их избыток также нежелателен. Так, избыток тяжелых металлов приводит к тяжелым функциональным расстройствам организма.

Закон толерантности объясняет многие наблюдающиеся факты. Например, совершенно понятно, что организмы с широким диапазоном толерантности в отношении всех экологических факторов должны быть наиболее распространенными. Другой пример: зона толерантности многих факторов сокращается в критические периоды жизни организмов, особенно в период размножения.

Характеристика способности организма или вида существовать в разнообразных условиях среды определяется термином «*экологическая валентность*». Вид может иметь узкую экологическую валентность по отношению к одному фактору и широкую — по отношению к другому. Суммарный набор валентностей различных факторов получил название *экологического спектра вида* (Чернова, Былова, 1981). Данный термин не следует путать со спектрами биологическим и биоэкологическим, имеющими совершенно иной смысл (см. Реймерс. 1990, с. 488).

Существует подразделение организмов в зависимости от их способности существовать в различных условиях или от отдельных факторов (табл. 1.5).

Итак, мы уяснили, что организмы находятся в весьма сложных взаимоотношениях с факторами среды. При этом в качестве факторов можно рассматривать и сами организмы, т.е. существует прямая и обратная связь между абиотическими и биотическими факторами.

Отметим еще одну сторону взаимоотношений: организмы на организмы могут воздействовать не прямо, активно, а косвенно, пассивно, например, через условия среды. Явление, когда совместно проживающие организмы разных видов влияют друг на друга посредством выделения продуктов жизнедеятельности, получило на-

Классификация организмов по толерантности и валентности

Группа организмов	Классифицирующий признак
Эврибионтные (Эвритопные)	Широкая приспособленность к условиям среды (высокая экологическая валентность)
Стенобионтные (стенотопные)	Узкая приспособленность к условиям среды (низкая экологическая валентность)
Эвритермные	Способны переносить значительные колебания температуры
Стенотермные	Требуют строго определенной температуры
Эвригальные (эвригалинные)	Способны переносить значительные колебания солености
Стеногальные (стеногалинные)	Переносят лишь незначительные колебания солености
Эвригигобионтные	Переносят значительные изменения влажности воздуха
Стеногигобионтные	Не переносят значительных изменений и колебаний влажности среды
Эвриионные	Способны жить в средах с различной кислотностью
Стеноионные	Живут только в средах с определенной кислотностью (или щелочностью)
Эвриоксибионтные	Переносят значительные колебания кислорода (например, в воде)
Стенооксибионтные	Не переносят значительных колебаний кислорода
Эвритрофные	Питаются многими пищевыми объектами
Стенотрофные	Питаются небольшим количеством пищевых объектов
Эврифотные	Переносят любые условия светового режима
Стенофотные	Живут только в узких пределах степени освещенности
Эврихорные	Характеризуются широкой экологической валентностью
Стенохорные	Организмы с узкой экологической валентностью

Примечание: от греч. «эври» — широкий; «стенос» — узкий.

звание *аллелопатии*. Эти продукты обобщенно именуется *колинами* и представлены эфирными маслами, глюкозидами, фитонцидами и другими сложными химическими соединениями. Аллелопатия проявляется в вытеснении или подавлении одного вида другим. Например, пырей и вообще сорняки вытесняют культурные растения, дуб и орех подавляют травянистую растительность под их кронами и т.п.

Различные экологические факторы зависимы друг от друга. Изменение одного фактора способно повлечь за собой изменение других

факторов. Это явление получило название *взаимодействия экологических факторов*. Развивая закон толерантности, американский эколог Ю. Одум (1975) пришел к выводу, что если условия по одному экологическому фактору не оптимальны для вида, то диапазон толерантности может сузиться и в отношении других экологических факторов.

Своеобразной формой взаимодействия факторов является частичная замена одного фактора другим. Явление, когда ослабление действия одного фактора проявляется в усилении действия другого фактора, получило название *эффекта компенсации* (Сытник и др., 1987). Например, известно, что в ряде районов Перу годами не бывает дождей. Недостаток влаги растения компенсируют за счет её поглощения из воздуха (частые туманы).

В принципе любое условие среды в некоторой степени может замещаться другим, т.е. внутренние причины экологических явлений при одном и том же внешнем эффекте могут быть различными. Например, вечнозеленые виды южных растений в более континентальном климате способны расти в подлеске под защитой верхних ярусов леса (в создаваемом ими биоклимате). В данном случае климатический фактор частично замещается биотическим.

Но ни один экологический фактор не может быть полностью компенсирован другим (другими). Поэтому если значения хотя бы одного экологического фактора выходят за пределы диапазона толерантности, то существование организма становится невозможным. Так, фототрофы, будучи лишены света, гибнут даже при оптимальных условиях температуры и питания и т.п.

1.7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Под экологическими процессами следует понимать все взаимодействия внутри экосистем (биогеоценозов), а также между отдельными системами и в биосфере в целом (включая формирование этой сферы на стыке лито-, атмо- и гидросферы).

С экологическими процессами не следует путать понятие «*экологизация*», под которым понимается процесс внедрения комплекса технологических, управленческих и прочих решений, направленных на улучшение использования природных ресурсов и улучшения качества природной среды (или хотя бы сохранения этого качества). В мировоззренческом отношении этот термин во многом аналогичен понятию «*экологическая культура*».

При формировании понятийной базы экологии, особенно в области взаимоотношения природы и общества, необходимо учитывать категории двух типов: одни из них ориентированы на природу, её сохранение, на улучшение природной среды, другие ори-

ентированы на хозяйство или население. В первом случае используется атрибутивный термин «экологический». При этом социально-экологические категории касаются взаимоотношений между природой и населением, а производственно-экологические — взаимоотношений между природой и хозяйством. Во втором случае применимы атрибуты «ресурсный» или «рекреационный».

При взаимодействии общества (хозяйства, населения) и природы (окружающей человека среды) протекают экологические процессы. Некоторые из них охарактеризованы ниже.

В качестве наиболее общего термина для всех процессов, обозначающих ухудшение среды обитания или окружающей человека среды, предложен термин *детериорация* (построен на базе латинского корня слова «ухудшение»). Данный термин впервые употреблен известным американским экологом Б. Коммонером в 1972 году. Употребляемый в настоящее время термин «загрязнение окружающей среды» (окружающей что?) точно характеризует лишь часть происходящих процессов.

Интоксикация — все виды загрязнения среды, вызывающие деградацию живых организмов, в том числе и такие, которые воздействуют на организм человека.

Контаминация — перегрузка экосистемы химически безвредными, но неразрушимыми телами антропогенного происхождения (пластмассовыми, стеклянными и прочими отходами).

Пейоризация — нарушение эстетики среды обитания с отрицательным воздействием на психику людей.

Деструкция — физическое разрушение экосистем производственной деятельностью человека.

Эрозия антропогенная — разрушение экосистем под воздействием природных факторов, активизируемых в результате деструктивной деятельности человека.

Разобщение — такая изоляция элементов единой экосистемы, которая приводит к разрыву связей между этими элементами.

Процесс, обратный детериорации, в зарубежной литературе получил наименование *консервации*. Однако этот термин ориентирует не совсем точно. Более точными, на наш взгляд, являются такие термины как *восстановление*, *сохранение*, *оздоровление*. Широко используется также термин *мелиорация*. Если раньше им обозначали только мероприятия по улучшению земель, то в настоящее время — все мероприятия по улучшению окружающей нас среды.

Для классификации детериорационных и мелиорационных процессов Э.Б. Алаев (1983) построил два терминологических ряда, приведенных в табл. 1.6.

Терминирование экологических процессов

Процессы детериорации		Процессы и мероприятия мелиорации	
Систематизированные термины	Традиционные термины	Систематизированные термины	Традиционные термины
1. Химическая детериорация	Интотоксикация	Химическая мелиорация	Очищение
2. Физическая	Контаминация	Физическая	Очищение
3. Тепловая	Калоризация	Тепловая	Декалоризация
4. Акустическая	Соноризация	Акустическая	Десоноризация
5. Радиоактивная	Активация	Радиоактивная	Деактивация
6. Волновая	Ондуляция	Волновая	Дезондуляция
7. Деструктивная	Деструкция	Деструктивная	Рекультивация
8. Эрозионная	Эрозия	Эрозионная	Консервация
9. Визуальная	Пейоризация	Визуальная	Магнификация
10. Дизъюнктивная	Разобщение, размыкание	Дизъюнктивная	Воссоединение, замыкание

Э. Б. Алаев отмечает возможность дальнейшего развития терминов «детериорация» и «мелиорация». Так, источник детериорации (завод, аэропорт и т.п.) может быть назван детериоратором, объект детериорации (ландшафт, поселение) — детериоратом, носитель детериорации (окислы серы, азота, пыль и т.д.) — детериорантом. Соответствующий ряд может быть построен и на основе термина «мелиорация»; мелиоратор, мелиорат, мелиорант.

Табл. 1.6 в дальнейшем, несомненно, будет дополняться и совершенствоваться. Так, уже сейчас широко применяется термин «дезертификация» (опустынивание). Данный процесс наиболее отчетливо прослеживается в областях Африки, прилегающих к южной границе Сахары («зона сахеля»). В восьмидесятые годы минувшего столетия было установлено («Природа», 1979. № 6, с. 111), что по мере продвижения на север от Гамбии к Мавритании через каждые 60 км среднегодовое количество осадков резко понижается — на 100 мм. Данный процесс специалисты связывают как с изменениями в крупномасштабной атмосферной циркуляции, так и с деятельностью человека.

Другие важные экологические процессы (типа сукцессии и пр.) подробнее рассматриваются в пятой главе данной книги.

1.8 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ

Выше уже неоднократно отмечалось, что экология изучает отношения, существующие как внутри экосистем, так и между ними, в частности, отношения между экотопом и биоценозом, а также составляющими их компонентами (элементами).

К категории отношений относится особая группа объективно существующих и устойчивых отношений (взаимосвязей), определяющих функционирование и развитие материального мира, именуемая *закономерностями* (реже — началами, принципами, правилами). Объективность заключается в том, что отношение проявляется независимо от сознания и воли людей. Устойчивость проявляется через обязательность закономерности, если сохраняются необходимые для неё условия. Иногда эту черту называют повторяемостью, из чего следует, что закономерности историчны.

Некоторые закономерности, отвечающие качеству сущности, называют *законами*.

Все законы и закономерности характеризуются наличием причинно-следственных связей, детерминированием одних явлений другими, при этом причина и следствие часто могут меняться местами. Другая особенность законов и закономерностей — их автономность, т.е. относительная независимость друг от друга. Ни один закон не «отменяет» другой, если для последнего сохранены условия и механизм его проявления. Так, социальные закономерности развития человечества не «отменяют» действия законов биологических, а последние — более общих законов материального мира, например, закона всемирного тяготения. Однако автономность законов и закономерностей не исключает их взаимодействия между собой. Именно эта «стыковая» область и является в настоящее время одним из важнейших объектов научных исследований.

Основным законом функционирования природы В.Г. Нестеров (1981) считает *закон биоэкоза*. При этом под биоэкозом понимается сочетание требований живого с возможностями условий среды.

По В.Г. Нестерову, сущность закона биоэкоза заключается в оптимизации соотношения живой природы и окружающей живые организмы среды, что может быть выражено соотношением:

$$\left\{ \left[\frac{0}{(0 + /0 - B/)} \right] = X \right\} \rightarrow I,$$

где 0 — окружающая среда; В — живая природа.

В единстве 0 и В устремлены к идеалу, т.е. $X \rightarrow 1$. Таким образом, закон биоэкоза выражает собой величину соответствия среды 0 и

требований организма В друг к другу. Понятие «величина» здесь использовано потому, что речь идет о количественном выражении при любом числе организмов и условий жизни.

Закон биоэкоза, как всякая истина, достаточно прост. Его математическое выражение представляет собой дробь, где характеристика среды 0 делится на требования организма В, нормированные в долях биоэкоза путем замены В на $(0 + /0 - В/)$. В последнем выражении член $/0 - В/$ поставлен в вертикальные скобки, а это означает, что какая бы величина от разности ни получилась — положительная или отрицательная, все равно она рассматривается как положительная и прибавляется к величине 0.

В.Г. Нестеров отмечает, что закон биоэкоза не задан какой-либо посторонней силой. Этот закон выражает способность живой составляющей использовать положительную часть притока внешних воздействий для своего существования и нейтрализовать отрицательные их формы.

В принципе экологические знания, как и закон биоэкоза, могут быть сведены к набору весьма простых и понятных каждому человеку правил и понятий, как это сделал, например, Б. Коммонер (1974). Весьма часто цитируются четыре его «закона»: 1) все связано со всем; 2) все должно куда-то деваться; 3) природа «знает» лучше; 4) ничто не дается даром.

Однако для выработки экологического реализма эти «законы» должны быть расшифрованы на основе взаимосвязанных теоретических знаний и подкреплены конкретным фактическим материалом. Так, расшифровка первого «закона» состоит в понимании того, что в природе не существует изолированных друг от друга явлений и что любая деятельность человека отражается на окружающей его природной среде.

Это нашло воплощение в экологическом законе *внутреннего динамического равновесия*. Этот закон формулируется следующие образом (Реймерс, 1990): вещество, энергия, информация и динамические качества отдельных природных систем и их иерархии взаимосвязаны настолько, что любое изменение одного из этих показателей вызывает перемены в этих системах и их иерархии, однако общая сумма вещественных, энергетических, информационных и динамических качеств систем и их иерархий при этом сохраняется.

Эмпирическим следствием этого закона является возникновение при любых изменениях среды *природных цепных реакций* (в частности, экологических процессов), ведущих в сторону нейтрализации произведенного изменения (аналог принципа Ле Шателье) или же формирования новых природных систем. Это же следствие относится и к энергетике природопользования: чем больше отклонение от экологического равновесия, тем значительнее должны быть

энергетические затраты для ослабления противодействия природных систем этому отклонению.

Природная цепная реакция, в свою очередь, понимается как цепь явлений, каждое из которых влечет за собой изменение связанных с ним других явлений. Например, исчезновение насекомых-опылителей делает невозможным плодоношение растений, что исключает возможность появления новых их видов (размножающихся семенами), приводит к исчезновению видов животных, питающихся их фитомассой, плодами и семенами, а также паразитов этих животных и т.д.

Весьма примечательно, что в последнее время осознанно или неосознанно предпринимаются попытки закон внутреннего динамического равновесия перенести на социально-общественные явления. Так, историк и литератор И. Бунич в одной из своих книг пишет: «В течение 12 лет Рузвельт и Гитлер возглавляли две величайшие мировые державы, потратив первые шесть лет на вывод своих стран из состояния глубочайшей депрессии. Следующие шесть лет они возглавляли военные усилия своих стран в смертельной борьбе друг с другом. И оба умерли в апреле 1945 года с разницей 18 дней в самом конце войны, которую Рузвельт выиграл, а Гитлер проиграл. Видимо, закон мирового баланса является всеобъемлющим, и в случае кризисов, угрожающих самому существованию хрупкой человеческой цивилизации, в конфронтирующих сверхдержавах возникают почти одновременно лидеры, заряженные почти одинаковым объемом динамической энергии, направленной на достижение мировой гегемонии» (1997, с. 206).

Взаимодействия в природных системах и их иерархии отнюдь не равноценны количественно. Поэтому слабые изменения одного показателя могут вызвать сильные изменения других показателей. Крупные перемены, проходя по иерархии от локальной экосистемы к биосфере, меняют глобальные процессы в целом и переводят их на более высокий качественный уровень. В этом состоит сущность закона необратимости эволюции (закон Л. Долло), который формируется как невозможность организма (вида, популяции) или их иерархии (организованной соподчиненности) вернуться к прежнему состоянию, уже осуществленному в ряду предков.

К этому закону близок и взаимосвязан с ним закон направленности эволюции. Согласно этому закону, общий ход эволюции всегда направлен на приспособление к исторически меняющимся условиям существования и ограничен ими. Разумеется, изменчивость в ряде случаев случайна (мутации), но в целом направленность доминирует над случайностью, т.е. наблюдается закономерное изменение форм живого.

С точки зрения термодинамики данный закон подтверждается принципом эволюции Л. Онсагера (или законом минимума диссипации

(*рассеивания*) энергии), согласно которому при вероятности развития процесса в некотором множестве направлений, реализуется то направление, которое обеспечивает минимум диссипации энергии (или минимум роста энтропии), т.е. эволюция всегда направлена на снижение рассеивания энергии и увеличение неравномерности её распределения.

Второй «закон» Б. Коммонера означает, что любая природная система может развиваться только за счет использования материальных, энергетических и информационных возможностей среды за счет их притока и оттока. Отсюда следует, что абсолютно безотходное производство невозможно (это было бы равноценным («*perpetuum mobile*»), в лучшем случае можно рассчитывать на малоотходное производство. Вообще, представление о том, что биосфера работает по принципу безотходности, ошибочно. В широком смысле слова отходами биосферной деятельности являются такие новообразования как пласты ископаемых углей, природная нефть, известняк-ракушечник, чилийская селитра (продукт превращения птичьего помета — гуано) и даже кислород атмосферы. Однако природа как бы стремится минимизировать отходы. Поэтому отходы одних организмов становятся необходимым условием существования других. Известно, например, что этиловый спирт является отходом жизнедеятельности дрожжевых клеток, при концентрации его свыше 15% клетки гибнут. В то же время человек использует этот «экскремент» для производства вина и крепких алкогольных напитков, в медицине, химическом синтезе и для других целей.

Важно и такое следствие второго «закона» Б. Коммонера как враждебность более высокоорганизованных биотических систем по отношению к низкоорганизованным. Такое соотношение складывается потому, что более высокоорганизованные системы, изменяя среду, делают ее менее пригодной для существования низкоорганизованных. По этой причине невозможно повторное зарождение жизни в биосфере, так как она будет уничтожена уже существующими организмами.

Третий «закон» Б. Коммонера говорит о том, что пока наши знания о природе недостаточны, пока природа свои механизмы и функции знает лучше, чем человек. Этот закон — предупреждающий: не навредите природе, пытайтесь ее улучшить; если не уверены в результате — не вмешивайтесь в природный процесс. С этих позиций в свое время была правильно приостановлена реализация «проекта века» — поворота стока северных рек на юг. Ведь и сегодня никто не может убедительно сказать, к каким последствиям привело бы его осуществление. Как тут не вспомнить великолепный афоризм: «Чем больше пустынь мы превратим в цветущие сады, тем больше цветущих садов мы превратим в пустыни» (Человек и природа, 1981, №8, с. 67).

Четвертый свой «закон» Б. Коммонер поясняет таким образом: «... глобальная экосистема представляет собой единое целое, в рамках которого ничего не может быть выиграно или потеряно и которое не может являться объектом всеобщего улучшения: все, что было извлечено из нее человеческим трудом, должно быть возмещено. Платежа по этому векселю нельзя избежать, он может быть только отсрочен» (1974, с. 32). Яснее, как говорят, не скажешь.

Близок к четвертому «закону» Б. Коммонера закон *константности, сформулированный* В.И. Вернадским: количество живого вещества биосферы для данного геологического периода является константой, т.е. увеличение массы живого вещества в одном месте повлечет ее уменьшение в другом месте. Из закона константности вытекает, что длительное время пустующие экологические ниши не могут существовать, так как это привело бы к уменьшению количества живого вещества.

К числу других важнейших экологических законов следует отнести следующие: биогенетический, системогенетический, последовательности прохождения фаз развития, гомологических рядов в наследственной изменчивости, генетического разнообразия, необходимого разнообразия, неравномерности развития систем и физико-химического единства живого вещества, а также принципы исключения, агрегации особей, плотной упаковки и сосуществования.

Биогенетический закон Э. Геккеля и Ф. Мюллера заключается в том, что организм (особь) в своем индивидуальном развитии повторяет в сокращенном и закономерно измененном виде историческое (эволюционное) развитие своего вида, т.е. в онтогенезе организма (особи) проявляется филогенез вида, к которому принадлежит данный организм (особь). Этот закон является частным случаем более общего *системогенетического закона*, который гласит, что природные образования, в том числе особи, биотические сообщества и экосистемы, в индивидуальном развитии повторяют в сокращенной и часто закономерно измененной форме эволюционный путь развития своей системной структуры. Близко к данному закону примыкает закон *последовательности прохождения фаз развития*, согласно которому развитие природных систем может происходить лишь в эволюционно определенном и экологически обусловленном порядке. Например, для шелкопряда развитие может идти только в таком направлении и такой последовательности: яйцо → личинка → куколка → имаго. Фазы при этом не могут меняться местами или пропускаться. Закон вытекает как логическое следствие диалектического историзма природы: ничто не может сначала умереть, а потом родиться; ничто не может развиваться от старости к молодости. Особенно важен данный закон при рассмотрении экологических процессов типа сукцессии.

Виды и роды, генетически близкие, характеризуются не только сходными фазами развития, но и сходными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что, зная ряд форм в пределах одного вида, можно предсказать нахождение параллельных форм у других видов и родов. Это так называемый *закон гомологических рядов в наследственной изменчивости*, установленный Н.И. Вавиловым. В современной формулировке он звучит так: «Родственные виды, роды, семейства и т.д. обладают гомологичными генами и порядками генов в хромосомах, сходство которых тем полнее, чем эволюционно ближе сравниваемые таксоны. Гомология генов у родственных видов проявляется в сходстве рядов их наследственной изменчивости» (Природа, 1987, №10, с. 65).

Существует группа законов, которую можно объединить под названием *законов разнообразия*. Первый из таких законов — *закон генетического разнообразия*. В соответствии с этим законом все живое генетически различно и имеет тенденцию к увеличению генетического разнообразия. Двух генетически абсолютных видов в природе быть не может. Исключения известны лишь для некоторых особей, например, однойцевых близнецов, немутуирующих клонов, вегетативных линий. Другой закон — *закон необходимого разнообразия* — гласит о том, что любая система, в том числе и экосистема, не может сформироваться из абсолютно одинаковых элементов. Из этого закона вытекает третий закон — *закон неравномерности развития систем*, поскольку система, имеющая хотя бы один отличный элемент, будет развиваться отличным путем по сравнению с путем развития любой другой системы. Этот закон действует и в пределах отдельного организма (особи), так как различные его части созревают, развиваются и стареют неравномерно (что особенно заметно в процессе *акселерации*). Близок к данному закону четвертый закон — *закон усложнения организмов* (*закон К.Ф. Рулье*), заключающийся в том, что развитие живых организмов и всех прочих природных систем, включая экосистемы, в историческом плане приводит к усложнению их организации путем нарастающей дифференциации их функций и органов (подсистем), выполняющих эти функции.

Закон физико-химического единства живого вещества был установлен В.И. Вернадским и формулируется следующим образом: все живое вещество Земли физико-химически едино.

Из этого закона вытекает важное практическое следствие: химическое вещество, вредное для одного вида организмов, оказывается в большей или меньшей мере вредным и для других организмов. Таким образом, вопрос сводится лишь к различной устойчивости организмов к воздействию конкретного физико-химического агента. Однако различные виды организмов размножаются с различной скоростью. Поэтому на практике получается, что неустойчивые к

данному агенту виды, но быстро размножающиеся, как бы уравниваются с более устойчивыми видами, но медленно размножающимися. Более того, благодаря быстрой смене поколений, виды первого типа с течением времени приспособляются даже к повышенным дозам вредного агента. Вот почему с позиций экологии недопустимо длительное использование химических веществ (пестицидов, гербицидов, антибиотиков и прочих) для борьбы с сорняками и вредителями растений, а также возбудителями болезней человека и других теплокровных животных.

Н.Ф. Реймерс (1990) указывает, что из закона физико-химического единства живого вещества вытекает и другое следствие, заключающееся в том, что глобальное живое вещество представляет собой как бы «сеть жизни». Разрывы этой сети создают в ней нечто подобное дырам — снижают устойчивость всей системы жизни. Поэтому лишь сохранение видового разнообразия организмов обеспечивает устойчивое существование всей биосферы. Так как человек также является частью «сети жизни», то необходимость охраны им живой природы может рассматриваться в качестве необходимой предпосылки «охраны человека».

Особую группу закономерностей составляют экологические правила, которые имеют черты естественноисторических законов и *нормативов*, определяющих взаимосвязи организмов со средой.

Некоторые из этих правил (правила Аллена, Бергмана и другие) будут рассмотрены в последующих разделах при изложении специальных вопросов. Здесь же мы остановимся лишь на трех из них: правилах географической замены, взаимоприспособленности и оптимальной компонентной дополнителности.

Правило географической замены (эту закономерность еще называют *правилом викариата Д. Джордана*) гласит: ареалы близкородственных форм животных (видов или подвидов) существенно не перекрываются, т.е. обычно занимают смежные территории, а сами родственные формы, как правило, викарируют (географически замещают друг друга). Из этого правила следует теоретическая невозможность улучшения видов местных популяций при вселении «чужих» родственных видов.

Приспособленность видов друг к другу в биоценозе характеризует *правило взаимоприспособленности К. Мёбиуса*: сообщество видов в биоценозе составляет внутренне противоречивое, но единое и взаимно увязанное системное целое. С этих позиций, как справедливо указывает Г.Ф. Морозов (1949), не существует полезных и вредных видов, «там все служит друг другу и взаимно приспособлено» (стр. 392).

Близко по смыслу к вышеприведенному *правило оптимальной компонентной дополнителности*, согласно которому экосистема не

может самостоятельно существовать при искусственном недостатке или избытке хотя бы одного из экологических компонентов. При этом «нормой» экологического компонента предлагается считать ту, которая обеспечивает экологическое равновесие в системе. Возможно, именно нарушение этого правила является причиной гибели многих цивилизаций прошлого, строивших свое благополучие на предельном экологическом дисбалансе.

В группе закономерностей, именуемых принципами, сначала рассмотрим *принцип исключения* (Г.Ф. Гаузе). Согласно этому принципу, два вида не могут существовать в одной и той же местности, если их экологические потребности идентичны. Существование их разобщено либо в пространстве (живут в разных биотопах), либо во времени (ведут ночной или дневной образ жизни). При этом биотоп рассматривается как синоним местообитания вида или популяции.

Исключением из принципа Г.Ф. Гаузе является противоположный ему *принцип сосуществования* Д. Хатчинсона, установленный для биотопов водной среды. Эти биотопы, в отличие от наземных, характеризуются большей трехмерностью, к тому же речь идет о сосуществовании в очень близких экологических нишах, которое можно рассматривать в качестве экологического дублирования (взаимозаменяемости популяций).

Принцип агрегации особей (В. Олли) гласит: скопление особей усиливает конкуренцию между ними за пищевые ресурсы и жизненное пространство, но в целом усиливает способность группы к выживанию (отсюда необходимость оптимальной густоты посева в условиях полей с сорняками). С другой стороны, виды, объединенные в сообщество (экосистему), сосуществуют с минимальной конкуренцией между собой и максимальной биологической продуктивностью в условиях данного биотопа (*принцип плотной упаковки* Р. Макартура). Из этого следует, что при культивировании биоресурсов необходимо стремиться к созданию систем, близких к природным.

В данном разделе мы не пытаемся подменить всю экологическую науку перечислением и комментированием законов, которые мы считаем в большей или меньшей мере причастными к данной науке.

Наша цель в другом. Экология, как наука, находится на том этапе, который можно назвать этапом наиболее динамичного ее развития. Возможно, мы ошибаемся, возможно, есть иные, более реальные подходы и решения. Мы не навязываем своего мнения.

Но эколог как ученый, как выразитель идей экологии, должен быть чрезвычайно ответственным и гибким. Политик в худшем случае определяет крах своей страны и политической системы, эколог — крах или сохранение жизни на Земле.

Раздел 2

ОРГАНИЗМЫ: ТАКСОНОМИЯ, ЭНЕРГЕТИКА, ЭВОЛЮЦИЯ, ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Экология как наука имеет смысл только в том случае, если среда взаимодействует с организмами. На Марсе нет жизни — не существует и экологии Марса (экологические проблемы там могут появиться лишь в далеком будущем после активного вторжения на эту планету человека с его биологическими спутниками).

Под организмом понимается *особь*, обладающая признаками жизни. Это понятие чисто биологическое. Его не следует пугать с другими определениями организма вне пределов биологической науки (например, с понятием «общественный организм» и др.).

Приведенное выше определение все же не является исчерпывающим, так как остается нерасшифрованным понятие «признаки жизни». Справедливости ради отметим, что, несмотря на то, что все знают, о чем идет речь, общепринятого биологического определения организма мы до сих пор не имеем. Так, В. Даль организм определял как «стройное целое, состав, общность орудного устройства». В.И. Вернадский организм определял как отдельный элемент живого вещества, единой совокупности, участвующей в геохимических процессах.

В свою очередь, *живое вещество* — это совокупность всех живых организмов в данной экосистеме вне зависимости от их систематической принадлежности. В глобальном масштабе живое вещество представлено всеми организмами биосферы. Общий вес этого вещества оценивается от $2,4 \cdot 10^{12}$ до $4 \cdot 10^{12}$ т (сухой массы).

«Атомарной» составляющей органического мира, как следует из приведенного выше определения организма, является особь. С биологических позиций элементарной единицей является *вид*. Под видом следует понимать совокупность особей, обладающих общими морфофизиологическими признаками и способных в природных условиях скрещиваться друг с другом, а также занимать сплошной

или частично разорванный ареал. Виды изолированы друг от друга биологически, что выражается в их нескрещиваемости. Вид представляет собой также систему генотипов, формирующих определенную совокупность экологических ниш и биогеоценозов (Реймерс, 1990).

Поэтому при дальнейшем изложении материала в качестве основного мы будем использовать понятие биологического вида.

В настоящее время описано свыше 0,5 млн видов растений и 1,5 млн видов животных. Предполагается, что общее количество видов может превысить 5 млн. Не меньшее (скорее, большее) количество видов, вероятно, относится к числу вымерших. Значительное количество видов исчезает под воздействием антропогенного фактора, однако не может вызывать сомнения тот факт, что главной причиной вымирания видов является эволюционная перестройка биосферы (данный вопрос подробнее рассмотрен ниже).

2.1 ТАКСОНОМИЯ (СИСТЕМАТИКА) ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Органический мир весьма сложен и многообразен. Чтобы разобраться в огромном количестве живых организмов, их нужно каким-то образом упорядочить. Условное разделение совокупности объектов на группы по сходному признаку или нескольким признакам получило в науке название *классификации*. Существует множество классификаций предметов, явлений и процессов.

В логике под классификацией понимают систему классов, предназначенную для характеристики совокупности предметов (понятий), однородных в определенном отношении, операцию построения этой системы, основанную на определенных правилах, и распределение исследуемых предметов (понятий) по классам этой же системы (Шарапов, 1977).

Классификация делает легко обзриваемой множественность объектов и в ней устанавливается известный порядок или закономерность (Вайсблит, 1926). Правильно построенная классификация вскрывает связи между изучаемыми объектами и служит основой для обобщающих выводов и прогнозов (Кондаков, 1975). Среди классификаций различают *иерархические* (по уровням организации), *систематические* (по таксонам в пределах фиксированного уровня) и *целевые* (Драгунов, 1981). Кроме того, классификации подразделяются на *естественные*, *искусственные*, *генетические*, *эволюционные* и иные. Обзор различных классификаций и принципов их построения дан, например, в терминологическом справочнике под ред. Ю.А. Косыгина (Забродин, и др., 1986). Нас в данном случае больше всего интересует естественная классификация, которая строится на основе объективных и наиболее существенных признаков и свойств предметов (явлений) и связей между ними. В указанном выше

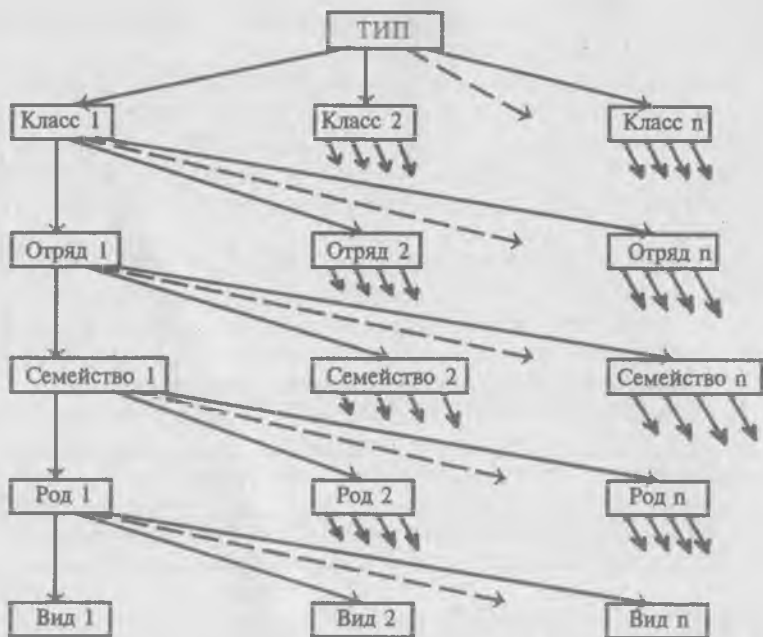
справочнике, на наш взгляд, сделан совершенно правильный вывод: «Если считать, что само наличие организмов в природе и закономерности их развития, взаимосвязей и взаимоотношения со средой являются объективной реальностью, то надо признать таковой и наличие естественного порядка в их пространственном и временном соподчинении, т.е. признать наличие объективной системы соотношения между отдельными организмами и между закономерно обособленными их группами» (с. 77).

Раздел биологии, занимающийся классификацией и описанием всех существующих и вымерших организмов, а также установлением родственных связей между ними, называется *систематикой*. Системный подход к каким-либо множествам объектов, явлений и процессов в настоящее время широко применяют и другие науки, как естественные, технические, так и общественные.

Теорию научной классификации организмов часто называют *таксономией*. Таксономическими единицами являются *таксоны*. Существуют определенные правила наименования *таксонов* (приоритет первооткрывателя в даваемом названии, обязательное название таксона на латинском языке и др.), что делает терминологию более устойчивой и не зависящей от моды в науке, волюнтаризма и других случайных явлений.

Термин «таксономия» (от греч. taxis — порядок, ряд, строй, расположение; nomos — закон) предложен в 1813 году швейцарским ботаником О. Декандром. К. Линней, создавший иерархию таксономических категорий, в мире животных различал всего пять таксономических уровней: класс, отряд, род, вид, разновидность. По мере накопления знаний о животных вводились дополнительные подразделения. Не осталась без изменений и основная таксономическая единица в системе живых организмов — вид. Накопление числа описанных видов и подвидов животных, растений и микроорганизмов привело как к «дроблению», так и «укрупнению» видов: с одной стороны, в качестве видов стали рассматриваться их локальные формы, а, с другой стороны, группы и ряды географических рас (подвидов), образующих совокупность явно родственных и обычно связанных друг с другом переходных форм. В результате появились понятия «мелкого» вида или *жорданона* (по фамилии французского ботаника А. Жордана) и «большого» вида или *линнеона* (по фамилии К. Линнея). Среди последних стали различать виды *монотипические* (не делимые на подвиды) и *политипические* (состоящие из двух или большего количества подвидов).

Биологическая классификация построена иерархически, т.е. каждая более высокая градация (или ступень) включает в себя ряд более низких. В идеальном случае правильно построенная классификация совпадает с объективно существующей пространственно-временной иерархией организмов (естественной классификацией).



«Рис. 2.1. Таксономическая иерархия организмов

В биологии принята классификация организмов по эволюционному происхождению и родству. При этом используются основные и дополнительные подразделения. К основным относятся: тип (группа), класс, отряд, семейство, род, вид. К числу дополнительных подразделений относятся: надтип (надгруппа), порядок, надкласс, подотряд, надсемейство, подвид и др. Внутри вида могут выделяться раса, сорт, порода, штамм и т.п.

Таксономическая иерархия организмов в биологии может быть представлена своеобразным «древом» (рис. 2.1).

Основной таксономической единицей в биологии и экологии, как уже отмечалось выше (см. введение к данному разделу) является вид (лат. «*species*»). Вид в научной номенклатуре обозначается двумя словами, тогда как другие таксономические единицы, более крупные, чем вид, обозначаются одним словом. Первое слово в названии вида — родовое, второе (прилагательное или существительное) — видовое. Пример: собака домашняя (*Canis familiaris*). Здесь *Canis* означает род, а *familiaris* — вид. Волк, принадлежащий к тому же роду, называется *Canis lupus*. Другой пример: обыкновенная лошадь и осёл

принадлежат к одному и тому же роду *Equus*; лошадь называется *Equus caballus*, а осёл — *Equus asinus*.

Полная иерархическая цепочка таксономических названий домашней собаки будет выглядеть следующим образом: тип — хордовые (*Chordata*), подтип — позвоночные (*Vertebrata*), класс — млекопитающие (*Mammalia*), отряд — хищные (*Carnivora*), семейство — собаки (*Canidae*), род — собака (*Canis*), вид — домашняя собака (*Canis familiaris*).

Видовая численность живых организмов в биосфере приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Приблизительная численность различных групп организмов в современной биосфере (по А.Н. Тюрюканову, 1973)

Группа	Число видов	Группа	Число видов
РАСТЕНИЯ		ЖИВОТНЫЕ	
Низшие		Простейшие	15000
Водоросли	25000	Губки	5000
Бактерии, грибы	100000	Кишечнополостные	9000
Лишайники	18000	Черви	19000
Высшие		Моллюски	105000
Мхи	20000	Членистоногие	
Плауновые	800	(без насекомых)	50000
Хвощевые	30	Насекомые	1000000
Папоротники	6000	Иглокожие	5000
Голосемянные	600	Хордовые (включая	
Покрытосемянные	200000-300000	позвоночных)	50000
		Из них:	
		Птицы	10000
		Млекопитающие	6000
Всего:	500000	Всего:	1500000

Из рассмотрения этой таблицы видно, что по видовому разнообразию в современную эпоху преобладают покрытосемянные растения (на втором месте — бактерии и грибы), а среди животных резко доминируют членистоногие (на один вид других животных в среднем приходится два вида членистоногих).

Систематизация живых организмов осуществляется на основе также некоторых общих принципов.

По морфологическому признаку все живые существа можно разделить на три большие группы, соответствующие трем уровням организации: *организмы с тканевым строением тела* (высшие растения и животные); *эвкариоты* (одно- и многоклеточные растительные и

животные организмы, у которых клетки имеют дифференцированное ядро и другие клеточные органеллы); *прокариоты* (бактерии).

Эвкариоты эквивалентны отдельным клеткам организмов с тканевым строением, а целые клетки прокариот сопоставимы с отдельными органеллами эвкариотной клетки, такими как митохондрии и хлоропласты. Г.А. Заварзин (1979) указывает, что это сходство идет так далеко, что переход от одного уровня к другому можно рассматривать как интеграцию организмов низшего уровня в организм высшего: организмы с тканевым строением образуют из многоклеточных колоний эвкариот, возникновение эвкариот воспринимается как включение симбиотических бактерий в клетку эвкариоты на правах функционально и частично генетически самостоятельной единицы. К тому же существуют организмы (гигантские анаэробные амёбы, динофлагелляты и др.), занимающие как бы переходное положение.

Другой важный признак, используемый в классификации организмов, — способ питания. Основных способов питания три: *фототрофное* (усвоение энергии солнечного света); *осмотрофное* (усвоение растворенных веществ из окружающей среды) и *голозойное* питание (потребление твердой пищи с последующим ферментативным разложением).

Фототрофное питание свойственно организмам-продуцентам, создающим первичное органическое вещество (зеленые водоросли, растения и в меньшей мере бактерии). Организмы с осмотрофным питанием (редуценты) ответственны за разложение органического вещества, синтезированного продуцентами (типичный представитель — мицелиальные грибы). Если субстраты питания — нерастворимые полимеры, то они должны быть сначала разложены гидролитическими ферментами. Организмы с голозойным питанием (животные-консументы), хотя и очень разнообразны, но имеют в целом меньшее значение в глобальных биогеохимических процессах по сравнению с первыми двумя группами.

Интересно отметить, что с точки зрения биохимических механизмов, животные по простоте организации предшествуют растениям, обладающим дополнительно хлоропластом, однако с точки зрения экологии отношения между продуцентами-растениями и консументами-животными — обратные.

Естественная классификация организмов имеет явное преимущество перед искусственными, так как основана на эволюционном принципе. Еще Ч. Дарвин писал: «Всякая правильная классификация есть классификация генеалогическая». По его словам, общность происхождения и есть та скрытая связь, которую бессознательно ищут натуралисты, а вовсе не какой-то неизвестный план творения или выражение общих положений, или простое сближение, и разделение более или менее сходных предметов.

Все одноклеточные организмы, относимые к миру животных, составляют тип *Protozoa* (простейшие). Многоклеточные животные организмы получили название *Metazoa*. Среди них различают организмы, у которых клетки лишь частично специализированы и объединены в ткани и органы, и организмы, у которых специализация клеток привела к созданию вполне определённых систем тканей и органов.

К первой группе относится тип губок (*Porifera*), а ко второй все остальные многоклеточные. Губки, таким образом, являются низшим типом многоклеточных животных.

Тело губки имеет неопределённую или мало определённую наружную форму, так как её определённость зависит от существования и строения специальных органов.

Более высоко организованы представители типа кишечнополостных (*Coelenterata*). Сюда относятся такие исключительно водные организмы как медузы, коралловые полипы, а также пресноводная гидра.

Тело кишечнополостного соответствует стадии *гастролы* всех более высокоразвитых многоклеточных и представляет собой в основном двухслойный мешок. Животные этого типа имеют уже более устойчивую внешнюю форму, частично определяемую существованием отчетливо развитых органов — щупальцев, рта, органов воспроизведения и прочих; эти животные обычно обнаруживают довольно совершенную радиальную симметрию. В поперечном разрезе они — двухслойные, наружный слой клеток называется *эктодермой*, внутренний — *энтодермой*.

Животные всех прочих типов отличаются от кишечнополостных присутствием у зародыша среднего клеточного слоя (*мезодермы*), расположенного между эктодермой и энтодермой. Этот слой даёт начало таким массивным образованиям как кости и мускулы.

Низшей по организации среди мезодермных животных является обширная группа, известная под названием червей (*Vermes*) и состоящая, в сущности, из нескольких различных типов. У наиболее примитивных червей мезодерма не расщепляется, они могут сохранять лишь первичную полость тела. У наиболее высокоорганизованных червей мезодерма расщепляется с образованием *вторичной полости тела* (целома). Кроме того, появляется *сегментарность* (членистость) тела, причем некоторые органы (в частности, нервные узлы, кольцевые кровеносные сосуды, выделительные органы) повторяются в каждом сегменте.

Различают следующие типы червей: *Plathelminthes* (плоские черви), *Nemertini* (немуртины), *Nemathelminthes* (круглые черви) и *Annelida* (кольчатые черви). Последний тип эволюционно наиболее интересен. *Annelida* — членистые черви, обладающие целомом, ротовым и

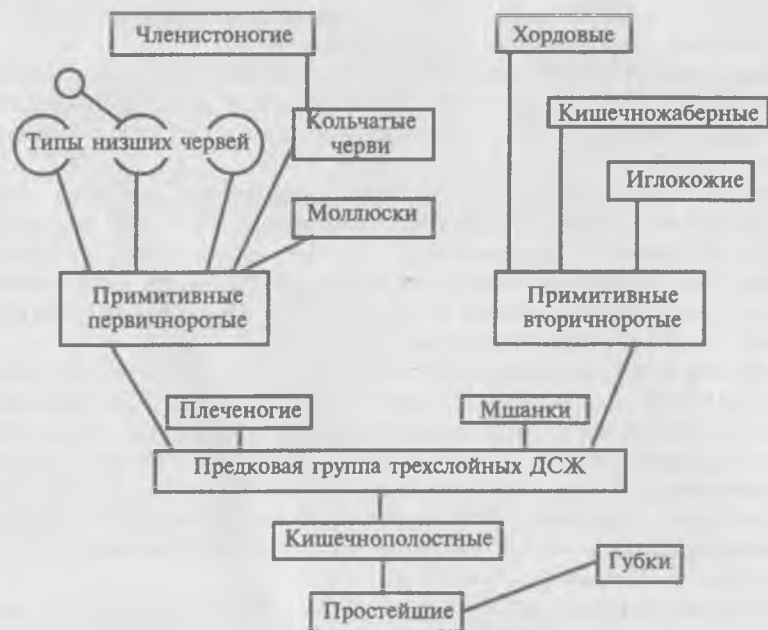


Рис. 2.2. Филогенетические отношения важнейших групп животного мира (по Л.Ш. Давиташвили, 1958)

анальным отверстиями. Некоторые из этих червей выделяют защитные известковые трубки (например, представители родов *Spirorbis* и *Serpula*, известковые с конца раннего палеозоя).

На рис. 2.2 представлена схема родственных (филогенетических) отношений между основными группами животного мира. Согласно этой схеме, тип простейших дал начало, с одной стороны, губкам, а с другой — кишечнополостным.

От кишечнополостных, возможно, произошли трехслойные двухсторонне-симметричные животные (ДСЖ), впоследствии давшие начало всем остальным типам. От этой древнейшей группы отходят две главные ветви: первичноротых (*Protostomia*) и вторичноротых (*Deuterostomia*). Первичноротые сохраняют *гастронор*, единственное отверстие, через которое полость гастролы сообщается с наружной средой. У вторичноротых первичный рот закрывается на определенной стадии индивидуального развития и заново возникает вторичный рот. Все низшие типы первичноротых (черви, моллюски) развились от родоначальной группы древнейших примитивных первичноротых. Тип кольчатых червей дал впоследствии начало типу

членистоногих (*Arthropoda*). Ко вторичноротым относятся иглокожие (*Echinodermata*) и хордовые (*Chordata*).

Ниже дана краткая характеристика основных типов и классов животных. За основу при этом нами принята классификационная схема Л.Ш. Давиташвили (1958), широко используемая в палеонтологии.

Как уже отмечалось выше, к типу простейших (*Protozoa*) относятся одноклеточные организмы, которые делятся на следующие классы: *Rhizopoda* (корненожки), *Sporozoa* (споровики) и *Infusoria* (инфузории). Спорным является класс *Mastigophora* (жгутиконосцы), который другие авторы под названием *Flagellata* (жгутиковые) относят к классу одноклеточных растений.

Корненожки характеризуются тем, что они способны выдвигать корнеподобные ложноножки (или *pseudopodium*), с помощью которых они захватывает пищу и перемещаются. Многие корненожки имеют твердый скелет, поэтому способны сохраняться в ископаемом состоянии. Такие корненожки в основном принадлежат к двум подклассам — подклассу *Foraminifera* (фораминиферы) и подклассу *Radiolaria* (радиолярии). В качестве примера укажем роды *Fusulina*, *Schwagerina* и *Nummulites* (рис. 2.3).

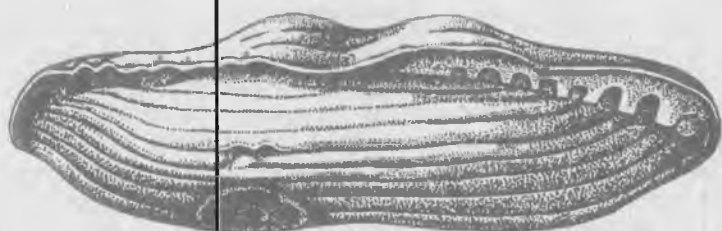
Радиолярии также могут иметь скелет. Обычно он сложен аморфным кремнеземом. Однако известна также небольшая группа радиолярий (отряд *Acantharia*), у которых скелет состоит из сульфата стронция.

В современных океанах остатки радиолярии образуют значительные скопления. Радиоляриевый ил развит в глубоких местах, где остатки известковистого планктона растворяются, не достигнув дна, и где на глубине около 4000 м глобигериновый ил практически исчезает.

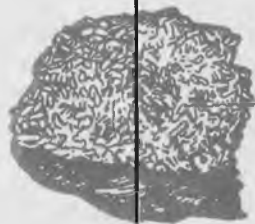
Среди губок (*Porifera*) различают классы *Culeispongia* (известковые губки), *Desmospongia* (десмоспонгии) и *Hexactinellida* (шестилучевые губки). Иголочки скелета губок называют *спикулами*. Иногда остатки спикул кремневых губок настолько обильны, что образуют пласты отложений, именуемых *спонголитами*. В некоторых случаях губки принимали участие в сооружении древних рифов, например в верхней юре Швабии (Южная Германия).

Особый тип живых организмов, известных под названием археоциаты (*Archaeocyathida*) существовал в кембрийском периоде палеозойской эры и полностью вымер к концу его (некоторые авторы относят археоциаты к типу *Porifera*). Это древнейшая группа морских прикрепленных бентонных животных. Известны как одиночные, так и колониальные формы.

Тип кишечноротовых (*Coelenterata*) делится на два подтипа: стрекающих (*Cnidaria*) и гребневиков (*Stenophora*). К первому под-



Увеличено



Fusulina



Schwagerina



Nummulites

Рис. 2.3. Представители типа Protozoa (роды *Fusulina*, *Schwagerina* и *Nummulites*)

типу относится большинство современных кишечнополостных и практически все ископаемые формы. Он содержит три класса: *Hydrozoa* (гидроидные), *Scyphozoa* (сцифоидные) и *Anthozoa* (кораллы). С позиций палеонтологии и геологии наиболее интересен отряд гидроидных *Stromatoporoidea* (строматопороидеи), скелеты которых иногда образуют значительные скопления (иногда и рифы) в палеозое, особенно в силурийском и девонском периодах. Пожалуй, наиболее экзотичен класс кораллов (название *Anthozoa* означает «животные-цветы»).

Все коралловые полипы можно подразделить на три подкласса: *Alcyonaria* (восьмилучевые), *Tabulata* (табуляты) и *Zoantharia* (зоантарии). Название «восьмилучевые» произошло от того, что вокруг рта полипов располагается венчик из восьми щупалец; кроме того, полость тела делится на восемь частей мягкими радиальными перегородками. Колонии табулят или трубчатых кораллов состоят из трубочек-кораллитов (отсюда и название). В подклассе зоантарий выделяют отряды *Tetracoralla* (четырёхлучевые кораллы) и *Hexacoralla* (шестилучевые кораллы).

Наибольшее геологическое значение имеют трубчатые и четырёхлучевые кораллы. Они приняли участие в образовании ископаемых коралловых известняков. Трубчатые и четырёхлучевые кораллы жили в палеозое, а шести- и восьмилучевые кораллы живут с триаса до настоящего времени. Колониальные кораллы живут в мелководной зоне теплых морей и строят коралловые рифы, но некоторые из них живут и в холодных водах. Одиночные кораллы обитают на различных глубинах, нередко до 1500-2000 м и более.

Тип мшанки (*Bryozoa*) — прикрепленные бентонные колониальные животные, живущие в морской воде на глубинах до 500 м и более. Подавляющее большинство современных мшанок относится к отряду *Cheilostomata* (губоротые).

Тип плеченогие (*Brachiopoda*) — представляет собой совершенно обособленную группу одиночных животных, достаточно резко ограниченную от других типов животных. Раковина плеченогого состоит из двух створок неодинаковой величины. В отличие от спинной створки брюшная створка имеет отверстие для ножки, с помощью которой животное прикреплялось ко дну. Современные представители обитают преимущественно на больших глубинах, но в прошлом, особенно в палеозое, они жили в мелководной части моря и образовывали скопления брахиоподовых известняков. Тип плеченогих делится на два класса: класс беззамковых (*Inarticulata*) и класс замковых (*Articulata*). Замковые характеризуются наличием двухзубого замка на створках, у беззамковых он отсутствует, поэтому створки могут передвигаться в плоскости, их разделяющей.

К типу *Mollusca* (моллюски или мягкотелые) относится большая группа животных (вторая по численности после членистоногих), обладающих, как правило, твердой известковой раковиной, в которой может помещаться (целиком или частично) мягкое тело животного. К этому типу относятся, например устрицы, улитки, осьминоги. Это достаточно высоко организованные беспозвоночные. У них развиты кровеносная (с сердцем) и нервная системы, пищеварительные органы и органы чувств. Большинство моллюсков — обитатели моря, где ведут придонный (нектонный) и пассивно-плавающий (планктонный) образ жизни, но некоторые живут в пресных

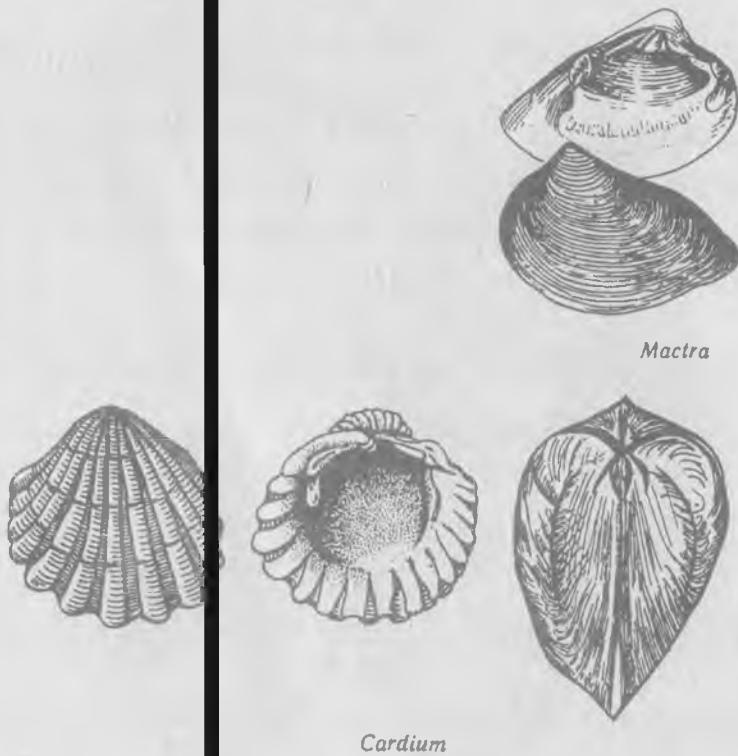


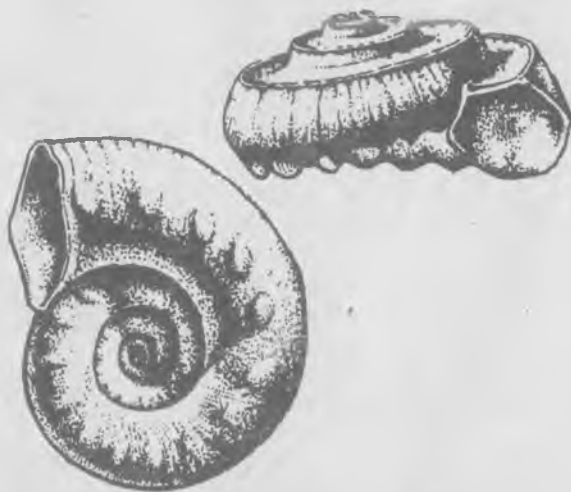
Рис. 2.4. Представители двухстворчатых моллюсков (роды *Mastra* и *Cardium*)

водах и на суше. Моллюски известны с кембрия до нашего времени, но особенно богато они представлены в мезозое и кайнозое.

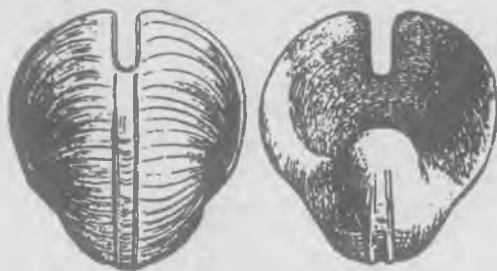
Известны следующие классы моллюсков: *Lamellibranchiata* или *Pelecypoda* (пластинчатожабрные или топоногие), *Gastropoda* (брюхоногие), *Amphineura* или *Loricata* (боконервные или панцирные), *Scaphopoda* (ладьиногие) и *Cephalopoda* (головоногие).

Класс *Pelecypoda* еще называют *Bivalvia* (двустворчатые). Характерные примеры двустворок (представители отряда *Heterodonta* — разнозубые) приведены на рис. 2.4.

Брюхоногие моллюски чрезвычайно широко распространены в настоящее время и живут как в море, так и на суше, активно ползая на ноге с уплощенной нижней поверхностью. Брюхоногие обычно имеют улиткообразную, башенкообразную и колпачковидную раковину. У некоторых ископаемых форм раковина спирально свер-



Euomphalus



Bellerophon

Рис. 2.5. Представители брюхоногих моллюсков
(роды *Euomphalus* и *Bellerophon*).

нута с одной плоскости. Примеры раковин таких животных (из семейства Archaeogastropoda — археогастроподы) приведены на рис. 2.5.

К классу брюхонервных относятся двусторонне-симметричные моллюски со спинной раковиной, состоящей из восьми пластинок. Животные относятся в основном к роду *Chiton* (хитоны).

Ладьиногие снабжены трубковидной известковой раковиной. Раковина открыта с обоих концов. Длинная нога приспособлена к закапыванию в ил или песок.

Головоногие моллюски — наиболее высоко организованные животные среди беспозвоночных, относятся к нектону и бентосу.

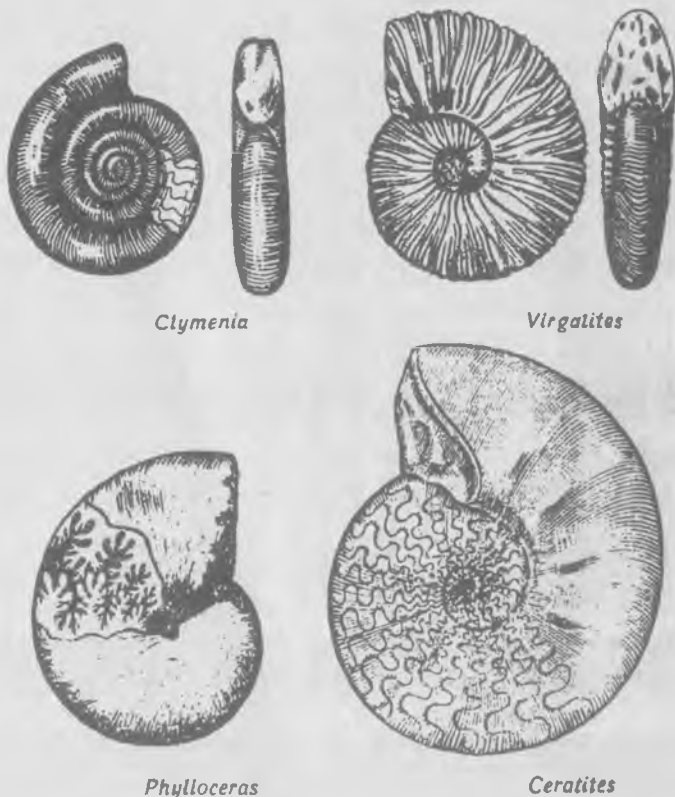


Рис. 2.6. Представители аммоноидей
(роды *Clymenia*, *Virgatites*, *Phylloceras* и *Ceratites*)

Головоногими этот класс назван потому, что в головной части тела имеются щупальца, выполняющие отчасти функции органов передвижения, а также захвата пищи и обороны. Дыхание жаберное.

Очень обилен видами в геологическом прошлом и вымерший полностью к концу мезозоя инфракласс головоногих моллюсков — *Ammonoidea* (аммоноидеи или аммониты). Примеры аммоноидей приведены на рис. 2.6. Как видно из этого рисунка, раковины аммоноидей характеризуются очень сложным рисунком перегородочных линий.

Так, у форм рода *Phylloceras* перегородочная линия состоит из многочисленных лопастей и седел, причем седла оканчиваются дву-

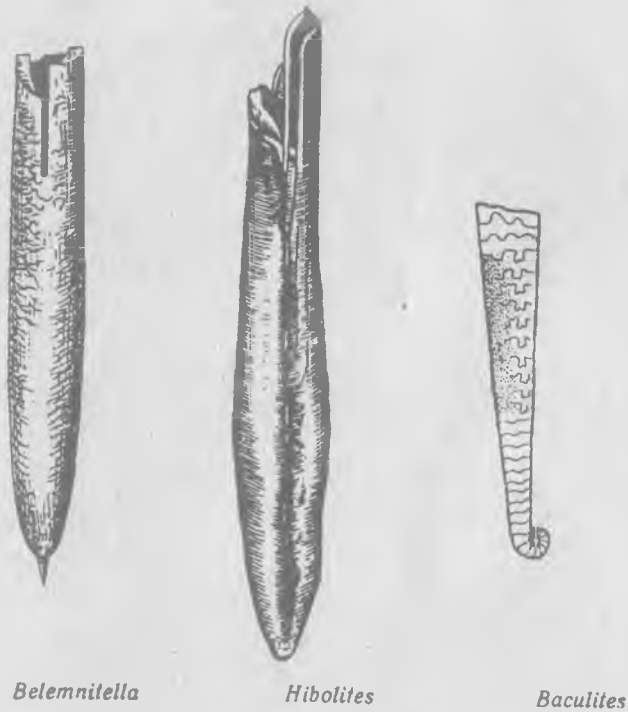


Рис. 2.7. Представители белемнитов (роды *Belemnitella*, *Hibolites* и *Baculites*)

мя, реже тремя или четырьмя листовидными овальными выступами. Наиболее сложна перегородочная линия у рода *Pinacoceras* (средний и, особенно, верхний триас).

К числу вымерших головоногих относится также отряд *Belemnitidae* (белемниты). Раньше его считали родом *Belemnites*. Белемниты — хищники, обитавшие на разных глубинах в морях и достигшие расцвета в мезозое (юра и мел). Далекими потомками белемнитов являются современные каракатицы и кальмары.

Растр белемнитов имеет сигаровидную или коническую форму (в народе именуется «чертовым пальцем») и состоит из игольчатых кристалликов кальцита. Примеры белемнитов приведены на рис. 2.7.

Наиболее обширным типом животных, охватывающим огромное количество ныне живущих форм (раки, пауки, насекомые и др.), является тип членистоногих (*Arthropoda*). Обитают они в самых разнообразных условиях: в морях, пресных водоемах, на суше, в почве, в воздухе.

Тело животного разделено на членики (сегменты) и покрыто твердым хитиновым панцирем, периодически сбрасываемым в процессе роста. У членистоногих хорошо развиты кровеносная, нервная и пищеварительная системы, органы дыхания и чувств.

Наиболее примитивная группа членистоногих относится к классу *Trilobitae* (трилобиты), вымершему полностью в конце палеозоя. Трилобиты — морские животные. Тело сверху у них покрыто хитиновыми обызвествленными панцирем, состоящим из трех частей: головной, туловищной и хвостовой. Две борозды, проходящие в продольном направлении, делят панцирь на осевую и две боковые части. Примеры ископаемых трилобитов приведены на рис. 2.8.

Кроме трилобитов в тип членистоногих входят следующие важнейшие классы: *Crustacea* (ракообразные), *Arachnomorfa* или *Chelicerata* (паукообразные), *Protracheata* (первичнотрахейные), *Myriapoda* (многоножки) и *Insecta* (насекомые).

Ракообразные, как правило, живут в воде, только немногие из них обитают на суше. Членистоногие класса *Chelicerata* (пауки, скорпионы и др.), наоборот, в основном являются наземными животными. Из водных до настоящего времени сохранился только один род *Limulus*.

К первичнотрахейным относится лишь один ныне живущий род *Peripatus*. Класс этот во многих отношениях представляется переходным от кольчатых червей к членистоногим. Многоножки имеют ясно обособленную голову с челюстями, дышат трохеями. Длинное червеобразное тело состоит из сегментов, каждый из которых несет одну или две пары членистых конечностей.

Класс *Insecta* по числу живущих ныне форм значительно превосходит все другие группы животного мира. Можно без преувеличения утверждать, что современная эпоха — царство насекомых.

Класс насекомых подразделяется на два подкласса: *Apterygota* (бескрылые насекомые) и *Pterygota* (крылатые насекомые). Оба подкласса содержат около 40 отрядов. Некоторые стрекозы, известные

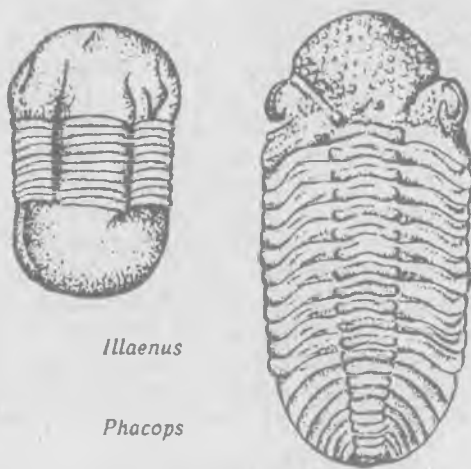
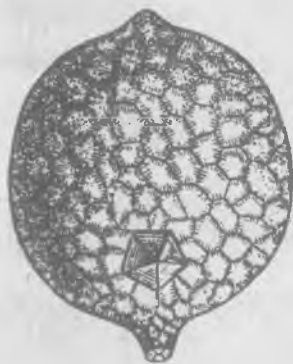


Рис. 2.8. Представители трилобитов (роды *Illaenus* и *Phacops*)

из каменноугольного периода, имеют размах крыльев до 70 см и представляют собой гигантов среди насекомых.

К типу *Echinodermata* (иглокожие) относятся морские звезды, морские ежи, морские лилии и другие обширные группы животных — как вымершие, так и существующие ныне. Все они — морские животные. Они обладают известковым скелетом или панцирем, состоящим из отдельных пластинок. Особенностью иглокожих является пятилучевая симметрия тела (но не у всех групп).

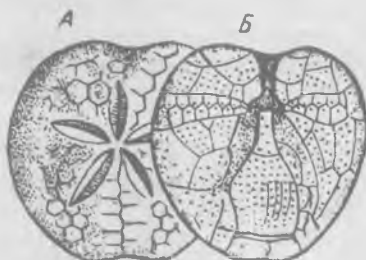
Иглокожие делятся на прикрепленных или стебельчатых (подтип *Pelmatozoa*) и свободноподвижных или неприкрепленных (*Eleutherozoa*). К прикрепленным относятся морские пузыри (класс *Cystoidea*), текоидеи (класс *Thecoidea*) и морские лилии (класс *Crinoidea*). Свободноподвижные иглокожие обычно делят также на три класса: *Echinoidea* (морские ежи), *Asterozoa* (морские звезды) и *Holothuroidea* (голотурии). Примеры ископаемых морских ежей приведены на рис. 2.9.



Echinospaerites



Archaeocidaris



Micraster

А — вид сверху; Б — вид снизу; В — вид сбоку

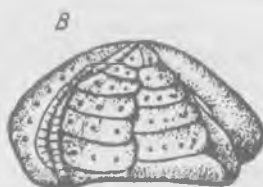


Рис. 2.9. Представители морских ежей (роды *Echinospaerites*, *Archaeocidaris* и *Micraster*)



Monograptus



Diplograptus



Rastrites

Dictyonema



Рис. 2.10. Представители граптолитов (роды *Monograptus*, *Diplograptus*, *Rastrites* и *Dictyonema*)

К типу полухордовых (*Hemichordata*) относятся организмы, имеющие признаки как хордовых, так и бесхордовых животных. Полухордовые имеют спинной нервный тяж и парные жаберные щели и в этом отношении близки к высшим типам животных — хордовым. Но в отличие от хордовых у них нет хорды — настоящей спинной струны.

К типу полухордовых относится современные червевидные морские животные класса кишечнодышащих (*Enteropneusta*), древо-видные колониальные морские формы класса крыложаберных (*Pterobranchia*) и вымершие палеозойские колониальные морские формы класса *Graptolithida* (граптолиты), имеющие форму веточек. Представители граптолитов показаны на рис. 2.10.

Все высшие животные относятся к типу хордовых (*Chordata*). Они характеризуются наличием внутри тела осевого скелета в виде сплошного упруго-гибкого стержня — спинной струны (*chorda dorsalis*). У высших хордовых она заменяется членистой осью, состоящей из позвонков (*vertebrae*, ед. число — *vertebra*) и называемой позвоночным столбом (*columna vertebralis*) или позвоночником. В типе хордовых различают три подтипа: *Tunicata* (оболочники), *Cephalochordata* (головохордовые) и *Vertebrata* (позвоночные). Наиболее важным является высший подтип хордовых (*Vertebrata*), который делится на классы бесчелюстных (*Agnatha*), рыб (*Pisces*), земноводных (*Amphibia*), пресмыкающихся (*Reptilia*), птиц (*Aves*) и млекопитающих (*Mammalia*). В последнем классе выделяется подкласс плацентарных или высших млекопитающих (*Eutheria*), к которому принадлежит отряд приматов (*Primates*) и с которым связано происхождение человека. Отряд приматов делится на подотряды *Lemuroidea* (лемуры или полуобезьяны), *Tarsioidea* (долгопяты) и *Anthropoidea* (человекообразные). В последнем подотряде обычно выделяют два надсемейства: *Platyrrhini* (широконосые обезьяны) и *Catarrhini* (узконосые обезьяны). К группе узконосых обезьян принадлежит семейство *Simiidae* (человекообразные обезьяны), куда относятся современные роды *Simia* (орангутанг), *Gorilla* (горилла), *Anthropopithecus* (шимпанзе) и *Hylobates* (гиббон).

Эти животные, еще называемые группой больших обезьян, по строению тела сравнительно мало отличаются от человека. Передние руки у них длиннее, а ноги короче, чем у человека. В отличие от человека большой палец ноги противопоставляется остальным пальцам (отодвигается в сторону). Некоторые большие обезьяны ведут «полудревесный» и даже «наземный» образ жизни. К числу древнейших *Simiidae* относятся вымершие роды *Propliopithecus*, *Pliopithecus* и *Ramaphithecus*. К числу предков человека принадлежит *Australopithecus* и некоторые другие ископаемые формы (*Plesianthropus*, *Paranthropus* и др.).

К древнейшим людям относят *питекантропа*, остатки которого были открыты на о. Ява, *синантропа* (Китай, близ Пекина) и *гейдельбергского человека*, нижняя челюсть которого была найдена в Германии близ г. Гейдельберга, а также некоторых других. Прямым предшественником современного человека является *неандерталец* (*Homo primigenius*), название которого произошло от названия долины Неандерталь близ Дюссельдорфа (Германия), где в 1856 г. были обнаружены его остатки. Неандерталец пользовался кремневыми орудиями грубой выделки *мустьерского туня*. По размеру головного мозга он не уступал человеку наших дней. Жил неандерталец в *раннем палеолите* (древнем каменном веке).

Типичным представителем новых ископаемых людей является *кроманьонец*, названный так по местности Кроманьон во Франции. Произошел он, по-видимому, от неандертальцев. У кроманьонца был высокий лоб без надбровных валиков. Вместимость черепа была не меньше, чем у современного человека. От кроманьонцев сохранились не только кремневые и костяные орудия тонкой выделки, но и произведения искусства: многочисленные изображения на стенах пещер и костяных орудиях.

Антропологические исследования показали, что современный человек (*Homo sapiens*) имеет моногеническое и моноцентрическое происхождение. Это значит, что все новые люди (как кроманьонцы, так и современные) произошли от одного общего корня (а не от разных форм питекантропов и неандертальцев) и что переход от древнего человека к новому совершился в одной большой области. Подробное историческое развитие людей изучает наука *антропология* и ее раздел *палеоантропология*. Здесь лишь отметим, что развитие животных предков человека было подчинено общим биологическим законам эволюции, но становление самого человека и дальнейшие его изменения обусловлены во многом новым фактором — социальным.

Аналогичным образом, как и животные, классифицируются растения. Ботаники весь мир растений обычно подразделяют на две части (подцарства): *Thallophyta* (низшие или слоевцовые) и *Cormophyta* (высшие или листостебельные).

К обширной группе слоевцовых относят более или менее примитивные растения с недифференцированным на ткани телом (слоевщиком или *thullus*). В отличие от слоевцовых листостебельные растения характеризуются наличием специализированных клеток, образующих стебель, листья и корень (*cormus* — побег).

С исторических позиций среди *Thallophyta* наиболее важными являются классы *Bacteria* (бактерии), *Cyanophyceae* (сине-зеленые водоросли), *Flagellata* (жгутиковые), *Diatomeae* (диатомовые водоросли), *Chlorophyceae* (зеленые водоросли), *Charophyta* (харофиты), *Phaeophyceae* (бурые водоросли) и *Rhodophyceae* (красные водоросли или багрянки). В особую группу выделяют грибы (*Fungi*).

Среди низкоорганизованных растений суши различают следующие их типы: *Nematophyta* (нематофиты), *Bryophyta* (мхи) и *Psilophyta* (псилофиты). Последняя группа растений исчезла уже к концу верхнего девона.

Родственен псилофитам тип *Lepidophyta* (плауновые). В верхнем палеозое это преимущественно древесные формы, ныне — травянистые растения. Наиболее характерным ископаемым плауновым является род *Lepidodendron* (расцвет в среднем карбоне).

В палеозое широкое развитие получил также тип *Arthrophyta* (членистостебельные). В основном это были крупные древесные формы, до наших дней дожил лишь один род — *Equisetum* (хвош). Членистостебельные относятся к споровым растениям. Характерный ископаемый представитель — род *Calamites* (каламиты).

К числу споровых растений относится и тип *Pteridophyta* (папоротниковые). Представители этого типа известны как в ископаемом состоянии, так и в настоящее время.

Среди семенных растений различают голосеменные (*Gymnospermae*) и покрытосеменные (*Angiospermae*). Первый из них является более примитивным и более близким к споровым предкам (существует даже класс *Pteridospermophyta* — папоротникообразные семенные). Наиболее широко в настоящее время распространен класс *Conifera* (хвойные).

Все же господствующим в современную эпоху типом растений является покрытосеменные (известно около 150 тыс. видов), семя которых развивается внутри особого вместилища. Покрытосеменные растения делятся на два класса: *Dicotyledones* (двудольные) и *Monocotyledones* (однодольные).

2.2. ЭНЕРГЕТИКА И ТЕРМОДИНАМИКА ОРГАНИЗМОВ

Органическим веществом и энергией все живое население фитоценозов и значительной части зооценозов обеспечивают организмы-автотрофы. Для них, в свою очередь, главным источником энергии является солнечная радиация, ассимилируемая в процессе фотосинтеза и дыхания растений.

Однако следует отметить, что в природе довольно широко развиты автотрофные микроорганизмы, для жизнедеятельности которых не требуется солнечная радиация (здесь не имеются в виду гетеротрофы, питающиеся разлагающимся или минерализованным органическим веществом). Так, бактерия *Thiobacillus thiooxidans*, существующая в анаэробных условиях, способна окислить серу до серной кислоты, понижая рН водного раствора до 2,2 при величине μH (окислительно-восстановительный потенциал) в пределах 20-25. Другим автотрофом подобного рода является *Thiobacillus ferrooxidans*. Источником энергии в данном случае является закисное железо, которое переводится в окисную форму. Жизнедеятельность этого микроорганизма также не требует присутствия органического вещества. Более того, некоторые органические соединения (соли жирных кислот, углеводы) угнетают окислительную способность бактерии (Кузнецов и др., 1962).

Таким образом, *T. thiooxidans* и *T. ferrooxidans* можно считать организмами, практически независимыми от других форм жизни и продуктов их жизнедеятельности.

В связи с этим определенным интересом представляет идея В.И. Вернадского о возможности превращения человеческого общества из гетеротрофного (т.е. питаемого другими) в автотрофное.

В силу своих биологических особенностей человек не может превратиться в существо автотрофное, поэтому вынужден посредством орудий производить пригодные для потребления органические и неорганические вещества. Однако общество в целом, по убеждению многих, способно осуществить так называемый автотрофный способ производственной деятельности.

Поэтому под автотрофностью человечества следует понимать теоретически возможное получение человечеством энергии и синтезированной пищи непосредственно от Солнца без использования других организмов. Это означает, что в будущем человек все в большей мере будет использовать не высокомолекулярные природные органические соединения, а станет синтезировать белки, жиры, углеводы и другие жизненно необходимые вещества из низкомолекулярных и даже отдельных элементов. Уже в наши дни ведутся исследования по получению растительноподобной пищи в ходе искусственного фотосинтеза.

Идея автотрофности человечества особенно привлекательна с экологических позиций, так как предполагает минимальное воздействие человека на окружающий его органический мир.

Итак, мы выяснили, что для жизнедеятельности организмов, включая человека, основным источником энергии является преобразованная энергия Солнца. Рассмотрим несколько подробнее данный вопрос.

Землю можно рассматривать как геофизическую систему (ГС), энергетически взаимодействующую с Солнцем. ГС, в свою очередь, коррелируется с биосферой (Б):

$$ГС \leftrightarrow Б \quad (2.1)$$

Из общего количества излучаемой Солнцем энергии Земля получает лишь небольшое ее количество, измеряемое примерно цифрой $21 \cdot 10^{23}$ кДж. Из этого количества растения ежегодно запасают не более $20,9 \cdot 10^{22}$ кДж, т.е. энергетический выход фотосинтеза не превышает 2% (Смирнов, 1978). За счет ассимилированной энергии Солнца ежегодно продуцируется близко $2,32 \cdot 10^{11}$ г живого вещества. Только за 1 млрд лет существования жизни на Земле это количество превысило $2,3 \cdot 10^{20}$ г, что в 10 с лишним раз больше массы Земной коры ($2 \cdot 10^{19}$ г). Отсюда понятна огромная энергетическая роль организмов в процессах, протекающих на Земле (Перельман, 1977).

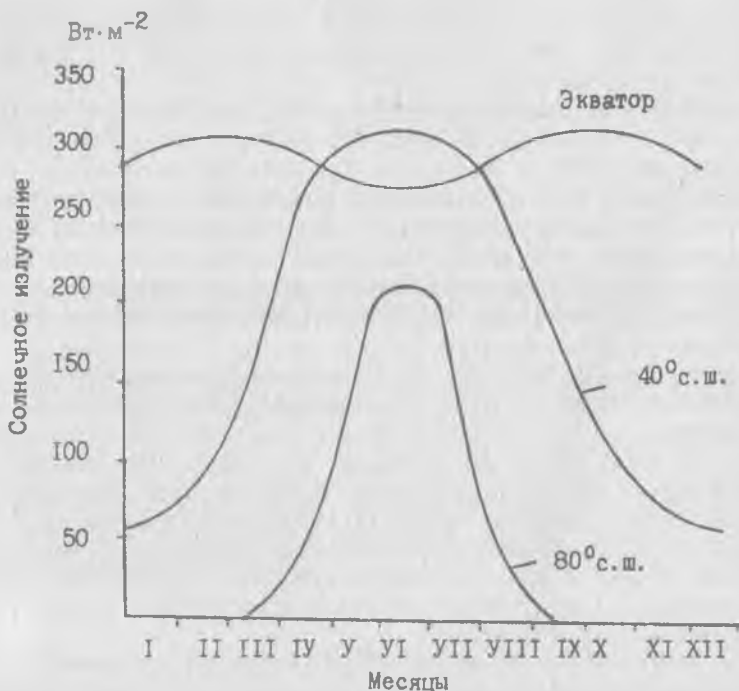


Рис. 2.11. Колебания инсоляции в различных широтах северного полушария

Количество солнечной радиации, приходящей на верхнюю границу атмосферы Земли, неодинаково в разных местах и является функцией широты (рис. 2.11). Среди других факторов, влияющих на приходящую радиацию, отметим наличие облачности и запыленность воздуха. Часть приходящей радиации отражается от земной поверхности и уходит обратно в атмосферу. Количество этой радиации зависит от альбедо (отражающей способности поверхности). Снег отражает до 80% солнечного излучения, травянистая поверхность — 20%, а черноземы и другие темные почвы — всего 10% излучения. Средняя величина альбедо Земли 35-45%.

Распределение солнечной радиации в системе «поверхность Земли-атмосфера» показано на рис. 2.12.

Выше уже отмечалось, что в процессе фотосинтеза только небольшая часть солнечной энергии ассимилируется. Эта часть составляет около 2% и получила название *коэффициента полезного действия фотосинтеза* (КПДФ). Максимальным КПДФ обладает лесная растительность (2,0-3,5%), для травянистых культур, в том числе

и сельскохозяйственных, он составляет 1,0-2,9%, а КПДФ фитопланктона не превышает 0,5%.

Растительность в процессе фотосинтеза ежегодно потребляет около 170 млрд т двуокси углерода (примерно 18-22% всего CO_2 , содержащегося в атмосфере), продуцируя при этом 115 млрд т кислорода.

Простейшей реакцией фотосинтеза является следующая:



На самом деле эта реакция значительно сложнее и содержит много промежуточных звеньев.

В целом в зеленых тканях листа растений осуществляются два параллельно протекающих, но противоположных процесса — фо-

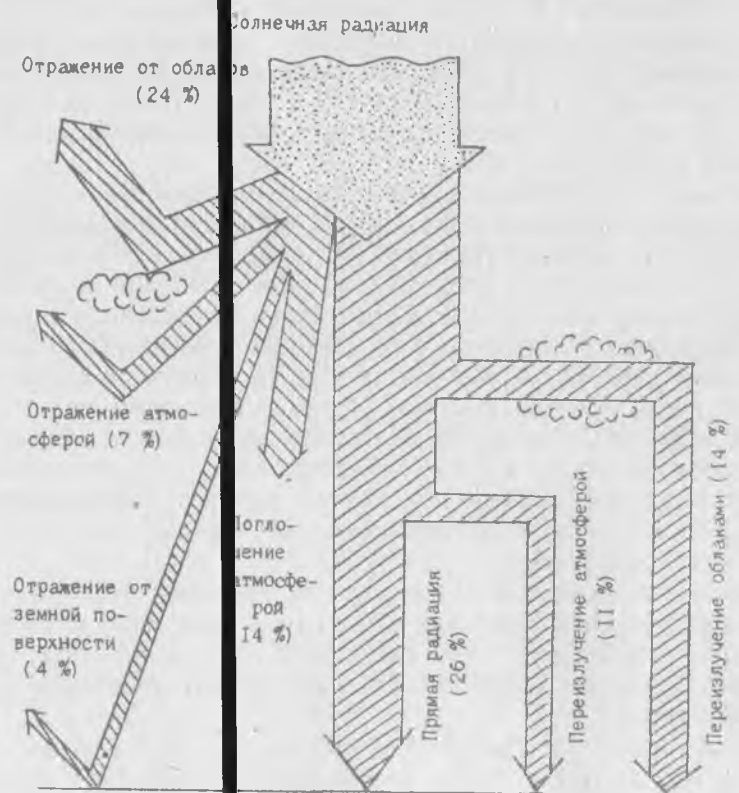


Рис. 2.12. Солнечная радиация в системе Земля — атмосфера

тосинтез и дыхание. При фотосинтезе создается органическое вещество и энергия накапливается. При дыхании часть накопленного органического вещества и энергии расходуется. Биомасса экосистемы растет, если процессы накопления вещества преобладают над процессами дыхания.

В водных экосистемах толща воды препятствует проникновению солнечных лучей. Отсюда понятно, что КПДФ водных организмов наиболее низкий. Зона, в пределах которой они еще способны увеличивать биомассу, носит название *эвфотической* (от греч. «эв» — пере-, сверх; «фотос» — свет), а экосистема в этой зоне носит название *системы с автотрофной сукцессией*. Водные экосистемы также делят на бедные и богатые биогенными элементами (*олиготрофные* и *эвтрофные*).

В любом органическом веществе ассимилировано некоторое количество энергии. Однако количество органического вещества не пропорционально накопленной энергии: 1 т сухого вещества растений в среднем содержит 18,7 кДж энергии. Семена растений более богаты белками и жирами, поэтому их энергетический эквивалент выше — 20,0 кДж. Еще выше он в сухом веществе позвоночных животных (мясо) — 23,5 кДж.

Автотрофные организмы создают *первичную продукцию*. Следует различать *продуктивность общую и текущую* (или годичный прирост). Если 1 га соснового леса способен образовать 200 м³ древесной массы, то это будет общая продуктивность. Однако за один год такой лес создает всего 1,7-2,5 м³ древесины. Эта величина характеризует текущую продуктивность (Стадницкий, Родионов, 1988).

Другие организмы, кроме автотрофов, не способны ассимилировать солнечную энергию и вынуждены использовать ее опосредованно через органическое вещество, созданное фотосинтетиками. В биогеоценозе создается цепь последовательной передачи органического вещества и накопленной в нем энергии от одних организмов к другим. Эта цепь получила название *трофической цепи* (от греч. «трофе» — питаюсь).

Примерами простой и более сложной пищевой (трофической) цепи могут быть следующие: осина — заяц — лиса; трава — насекомые — лягушки — змеи — хищные птицы. Если трофические цепи имеют общие звенья, образуется сложная система, именуемая *трофической сетью*.

Звенья трофических цепей и сетей получили наименование *трофических уровней*. Более точно трофический уровень определяется как совокупность организмов, получающих преобразованную в пищу солнечную энергию через одинаковое число посредников (звенья-

ев) трофической цепи. Так, определение «третий трофический уровень» означает, что между автотрофами — продуцентами (первый трофический уровень) имеется второй уровень — первичные консументы (растительноядные организмы). Третий трофический уровень представлен вторичными консументами (хищники и паразиты консументов). Существуют и более высокие трофические уровни: четвертый — вторичные хищники и паразиты вторичных консументов; пятый — паразиты вторичных хищников, шестой — надпаразиты высоких порядков (паразиты паразитов вторичных хищников и др. Несколько особняком стоят *редуценты*. Они могут составлять любой трофический уровень, начиная со второго. Редуценты разлагают органические вещества до минерального состояния и CO_2 . Продукты разложения опять возвращаются к продуцентам, образуя замкнутый *трофический цикл* (рис. 2.13), постоянно подпитываемый солнечной энергией.

Часть биомассы продуцента вместе с заключенной в ней энергией необратимо передается по трофической цепи с падением по-

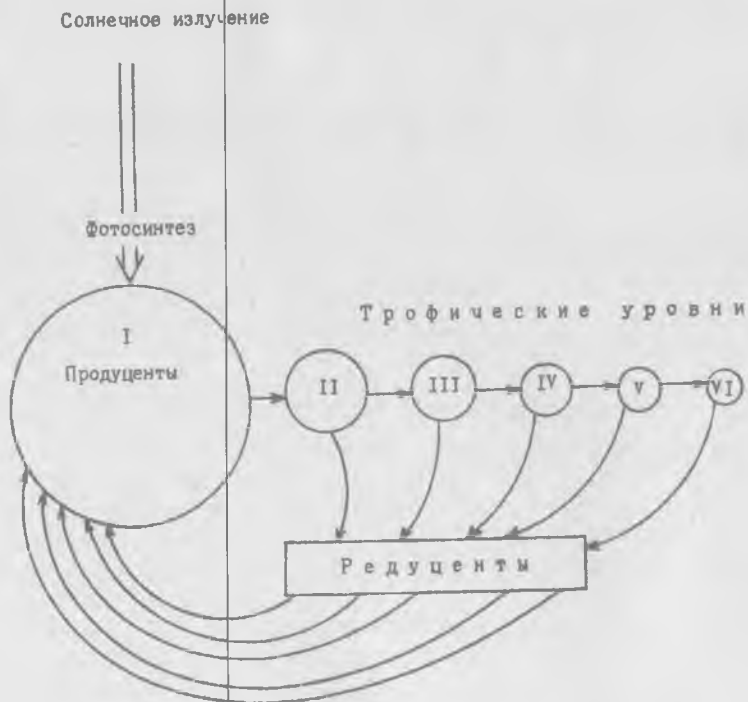


Рис. 2.13. Схема трофического цикла. Стрелками показаны трофические цепи

тока на каждом из трофических уровней в результате дыхания, теплового излучения живых тел и других процессов. Продуктивность организмов, входящих во второй и более высокие трофические уровни получило название *вторичной продуктивности*. Энергетически вторичная продуктивность исключительно низка, так как при передаче из одного трофического уровня в другой теряется 90-99% энергии. Таким образом, в соответствии с вторым законом термодинамики в трофической цепи происходит рассеивание энергии, т.е. энтропия системы возрастает. Для устойчивой экосистемы рассеивание энергии компенси-

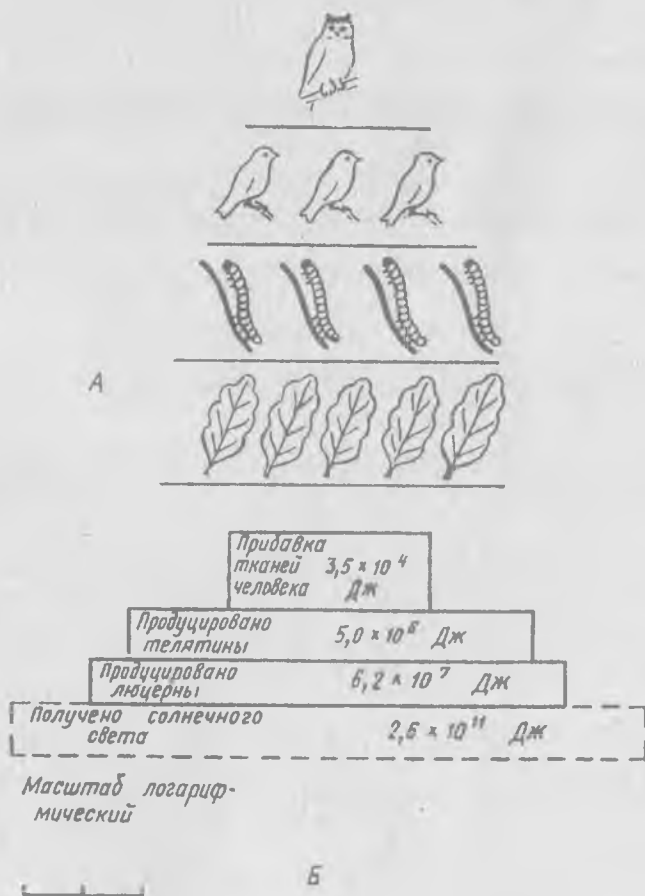


Рис. 2.14. А — Классическая пирамида чисел Элтона (Elton, 1927).
 Б — Энергетический вариант пирамиды для конкретной сельскохозяйственной системы (пересчитано в системе СИ; данные Ю. Одума, 1975)

руется постоянным поступлением энергии от Солнца и ее материализацией автотрофами-продуцентами.

При деструкции организмов редуцентами также теряется значительная часть энергии, и продуцентам возвращается не более 0,20-0,25% изначально ассимилированной солнечной энергии. Поэтому когда мы говорим о тропическом цикле, его следует рассматривать именно как цикл, а не круговорот энергии, так как в этом цикле существует возврат вещества, а энергия практически полностью теряется «в пути».

В связи с отмеченными выше особенностями продуктивности различных трофических уровней, соотношения биомасс и накопленных в них энергий принято изображать графически в виде пирамид. Первую такую пирамиду построил Ч. Элтон (рис. 2.14). Она носит название *пирамиды Элтона* или *пирамиды чисел*. Она наглядно иллюстрирует сокращение биомассы и количества особей в трофической цепи.

В целом под *экологической пирамидой* понимается соотношение между продуцентами, консументами и редуцентами в экосистеме, выраженное в их массе или энергии. В некоторых водных экосистемах (например, в пелагической части морей и океанов) из-за исключительно высокой биологической продуктивности продуцентов, активно развиваются трофические уровни консументов, и их масса может превращать массу продуцентов; редуценты иногда практически отсутствуют, так как отмирающие остатки погружаются в более глубокие слои и опадают на дно водоемов. В почвенном слое, наоборот, редуценты имеют максимальную биомассу, т.е. тоже образуют обращенную пирамиду (рис. 2.15).

При рассмотрении трофических уровней и цепей мы уже отметили что в системе цепи ее энтропия возрастает, т.е. процессы в ней соответствуют второму началу термодинамики.

Математически это начало может быть выражено уравнением:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = R \ln W_2 - R \ln W_1 = R \ln \frac{W_2}{W_1}, \quad (2.3)$$

где ΔS — изменение энтропии;

S_1 — энтропия в состоянии 1;

S_2 — энтропия в состоянии 2;

R — газовая постоянная;

W_1 и W_2 — вероятность существования вещества или какой-либо его формы в состояниях 1 и 2.

Допустим, что переход от состояния 1 к состоянию 2 — процесс самопроизвольный. Если этот процесс имеет место, то $W_2 > W_1$ и, следовательно,

$$S_2 - S_1 > 0, \quad (2.4)$$

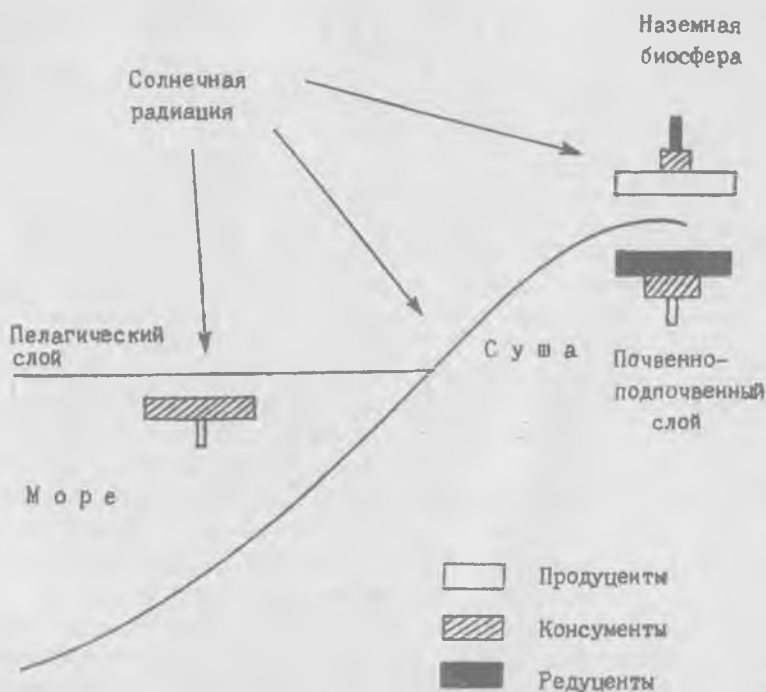


Рис. 2.15. Некоторые пирамиды биомасс в биосфере

т.е. в самопроизвольных процессах, проходящих без изменения энергетического состояния, энтропия увеличивается ($\Delta S > 0$).

Система из состояния 2 (равномерное беспорядочное распределение атомов) не может самопроизвольно перейти в состояние 1, характеризующееся большим порядком. Состояния с большим беспорядком (с большей энтропией) более вероятны. Самопроизвольно могут протекать процессы в сторону наступления более вероятного состояния, когда энтропия увеличивается, порядок уменьшается, а беспорядок увеличивается (Керн, Вайброд, 1966; Зайцев, 1973 и др.).

Однако это утверждение справедливо лишь для систем, в которых не происходит каких-либо энергетических изменений (изменение энтальпии $\Delta H = 0$).

Организмы упорядочены в большей мере, чем слагающие их атомы и первичные соединения (H_2O , CO_2 и др.). Следовательно, для того, чтобы энтропия системы не возрастала, организм должен извлекать из окружающей среды отрицательную энтропию (негэнтропию). Для автотрофов это возможно за счёт ассимиляции солнечной энергии. Консументы негэнтропию извлекают из пищи. При этом

значительная часть энергии рассеивается (как в первом, так и во втором случаях). При гибели организма ассимиляция им солнечной энергии прекращается и происходит только рассеивание ранее накопленной (в консументах — опосредованно накопленной) энергии, и энтропия системы возрастает.

С точки зрения термодинамики жизнь может рассматриваться как процесс непрерывного извлечения некоторой системой энергии из окружающей среды, преобразования и рассеивания этой энергии при передаче от одного звена к другому (Стадницкий, Родионов, 1988).

С энтропией многие исследователи связывают подмеченное еще В.И. Вернадским явление увеличения размеров и веса организмов в филогенетической ветви. Происходит это потому, что чем меньше особи, тем труднее им противостоять энтропии. Поэтому размер особей в процессе эволюции увеличивается. Однако это увеличение на определенном этапе входит в противоречие с необходимостью затрат слишком большого количества энергии для поддержания жизнедеятельности. Наиболее крупные организмы, в конце концов, вымирают. Однако может случиться и так, что отдельные формы эволюционно мельчают, что повышает их шансы на выживание. Вероятно, данная закономерность объясняет наличие в биосфере множества биоценозов, так как беспредельный рост какого-нибудь одного из них тождественен гигантизму отдельных особей вида.

Особое значение в экологии имеют так называемые *правила десяти и одного процента*.

Первое правило означает, что перевод из одного трофического уровня на другой 10% энергии (или соответствующего ей количества веществ) в целом существенно не нарушает трофическую цепь, экологическую пирамиду и не приводит к неприятным (необратимым) для экосистемы последствиям. Этот принцип еще называют законом пирамиды энергий (законом Р. Линдемана).

Первое правило позволяет делать приблизительные расчеты необходимой земельной площади для обеспечения населения продовольствием и другие эколого-экономические подсчеты. Применительно к стационарным популяциям, которые в данное время не подвержены массовому размножению или катастрофическому падению численности, изъятие 10% (или несколько большего количества) особей также не влечёт за собой выведения популяции из стационарного состояния.

Правило одного процента означает, что изменение энергетики природной системы на величину до 1%, не выводит ее из равновесного (квазистационарного) состояния. Превышение какими-либо крупными природными или искусственно вызванными процессами суммарной энергии Солнца более чем на 1% может привести к

крупным глобальным изменениям и даже катастрофам (резкое глобальное изменение климата, крупные лесные и степные пожары, активизация тропических циклов, глобальное изменение растительности, «ядерная зима» в результате массового применения ядерного оружия и т.д.).

Следует отметить, что все же 1 и 10% в количественном отношении являются приблизительными.

Энергетика и термодинамика организмов теснейшим образом связаны с температурным фактором среды. Более чувствительны к воздействию этого фактора растения. Животные в этом плане относительно более независимы. Прежде всего, этому способствует механизм терморегуляции, выработанный у теплокровных животных (млекопитающие, птицы). Многие животные способны выбирать места с более благоприятной температурой (в норках, зарываясь в песок, уходя под камни и т.п.), активны в определенное время суток (змеи, тушканчики, суслики и др.). Известно *правило Бергмана*, имеющее термодинамическую основу: у теплокровных животных, подверженных географической изменчивости, размеры тела особей больше у популяций, живущих в более холодных частях ареала вида (хотя и имеются исключения). Так как потеря тепла пропорциональна поверхности тела организма (но не его массе), поэтому более крупным животным легче поддерживать постоянную температуру тела. Например, самый мелкий пингвин (*Spheiscus mendiculus*) обитает на экваторе (Галапагосские острова), а самый крупный императорский пингвин (*Aptenodytes forsteri*) гнездится в материковой зоне Антарктиды. Из правила Бергмана вытекает частное *правило Аллена*: выступающие части тела теплокровных животных (уши, хвосты, лапы и др.) в холодном климате короче, чем в тёплом (в первом случае в окружающую их среду они отдают меньше тепла (Дре, 1976). Например, представители рода лисицы — фенек Сахары (*Fennecus zerda*), лисица европейская (*Vulpes vulpes*) и песец полярный (*Alopex lagopus*) — характеризуются закономерно убывающими размерами ушей и других выступающих частей головы.

Выше мы уже дали термодинамическое определение жизни. Уточним его в свете биоэнергетических идей Э.С. Бауэра, Э. Шредингера и др. авторов.

- Растения и животные можно рассматривать как химические системы в неустойчивом состоянии с очень низкой структурной энтропией. В связи с этим Э.С. Бауэр (1935) выделил три основные особенности живых систем: 1) самопроизвольное изменение состояния (они похожи на заведенные машины — часы, аккумуляторы и т.п.); 2) противодействие внешним силам, приводящее к изменению первоначального состояния окружающей среды; 3) постоянная работа против сил уравнивания с окружающей средой.

Первые две особенности (черты) встречаются у многих систем. Третья же особенность присуща только живым системам, поэтому Э.С. Бауэр ее назвал *всеобщим законом биологии*.

Если в неживых системах устойчиво их равновесное состояние, характеризующееся минимальным значением свободной энергии и максимальным значением энтропии, то в живых системах все наоборот: устойчиво их неравновесное состояние, характеризующееся запасами свободной энергии и негэнтропии, носителем которых является их особая структура.

Э. Шредингер (1947) также считает главной особенностью живых систем их неуравновешенность с окружающей средой. Будучи открытыми, живые системы поддерживают свое неравновесное состояние путем непрерывного обмена — «метаболизма» с окружающей их средой дыханием, едой, питьем и т.п. Назначение обмена — освободиться от производимой положительной энтропии и извлечь отрицательную (негэнтропию). За счет высвобождения положительной энтропии она накапливается (возрастает) в окружающей организм среде.

В связи с делением организмов на продуценты и консументы Э. Шредингер различает два механизма извлечения отрицательной энтропии; первый — статистический, создающий порядок из беспорядка, и второй — создающий порядок из порядка низшего уровня.

Несколько слов необходимо сказать еще об одной стороне биоэнергетики и термодинамики, которая совершенно не освещена в известных нам учебниках по экологии. Эта сторона вопроса теснейшим образом связана с ноосферой как высшей формой биосферы (подробнее речь о ноосфере пойдет в разделе 4).

Речь идет о теснейшей взаимосвязи биоэнергетики и экономики, в частности, такой ее специфической категории как *деньги*. Для этого первоначально выясним характер отношений, существующих между энергией и деньгами. Сделаем это на основе известной работы Г. Одума и Э. Одума (1976).

В природе деньги не существуют. Они не существуют и в сфере материального производства, а появляются лишь на завершающей стадии трудового процесса как некий его эквивалент, более удобный для обмена, чем сам продукт труда.

С другой стороны, в природе все процессы, которые условно можно назвать обменными, совершаются благодаря энергии и энтропии. В основе материального производства как продуктов питания, так и промышленных товаров тоже лежит энерго-энтропийный подход. Причем большая часть энергии, используемой как неантропогенными объектами, так и человеком, это энергия Солнца: как прямая, так и косвенно проявляющаяся через энергию движущихся водных и воздушных масс, а также накопленная в горючих полезных ископаемых.

Нет энергии — нет жизни. Нет энергии — нет материального производства. Нет энергии — теряет смысл существование денег. Таким образом, не деньги, а энергия является действительным показателем обмена как в природе, так и в обществе, поэтому именно энергетическая единица должна стать критерием измерения и оценки, особенно того вклада, который вносит природа в существование человечества. Если денежная единица применима лишь к заключительной стадии трудового процесса, то энергетическая единица, как более общая, охватывает всю природу и систему «природа — общество», в частности.

Кроме того, денежному эквиваленту труда присущи многочисленные недостатки. Во-первых, в большинстве случаев курс денег выше или ниже действительных энергетических и трудовых затрат, что связано со сложностью экономических, социально-политических и иных условий в обществе, действием таких факторов, как война, кризис и т.п. Во-вторых, некоторые государства и люди накопили значительные богатства в виде ценностей, значительно более дорогих, чем золото, что его стоимость (как золотого эквивалента денег) тоже стала весьма неустойчивой. В третьих, подобно товарным и другим потокам, денежное обращение способствует развитию производства, но при этом оно само требует определенных затрат труда и энергии.

В целом же можно сделать вывод, что именно поток энергии регулирует денежное обращение. Денег в принципе можно напечатать сколько угодно, но это приведет только к краху экономической и финансовой систем. В отличие от денег запасы энергии ограничены — ее существует столько, сколько излучает Солнце, включая и накопленную солнечную энергию и энергию делящегося ядра. Суммарное количество энергии только уменьшается за счет ее расходования природой и человеком.

В данный момент времени, как указывают Г. и Э. Одумы, существует некоторое среднее отношение суммы обращающихся денег к энергетическому потоку. Например, в США ежегодно обращается (со скоростью — четыре цикла в год) 1,4 триллиона долларов. В течение 1973 года в США было потреблено около $146,5 \cdot 10^{15}$ к Дж энергии. Отношение этих двух потоков составляет 105 000 к Дж на 1 доллар. Естественно, что это соотношение различно в различных частях экономической системы.

С изложенных выше позиций идея о том, что экономику можно оживлять постоянным притоком денег (инвестициями), неверна по той простой причине, что поступление энергии также имеет свой предел. Поэтому увеличение массы обращающихся денег не в состоянии стимулировать материальное производство, если оно связано с достижением предела поступления энергии. В этом случае может наступить лишь обесценение денег по отношению к энергии.

В то же время экономика, располагающая запасами энергии, может ввести в обращение дополнительные денежные резервы, сохраняя в то же время отношение массы обращающихся денег у энергии постоянным. Накопленные денежные средства вместе с запасами реальной энергии составляют денежный капитал и могут предоставляться займы. Для стран, которые не имеют в достаточном количестве таких источников энергии как нефть, газ, ископаемые угли, горючие сланцы, уран, основными источниками энергии, в том числе для создания ее запаса, могут быть сельскохозяйственная продукция и использование альтернативных энергоносителей.

2.3. ОРГАНИЗМЫ В КООРДИНАТАХ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

Приведенная на рис. 2.1 схема иерархической соподчиненности таксонов вполне устраивает эколога в тех случаях, когда экосистемы и популяции рассматриваются в исторически-статичном состоянии и без ущерба для результатов исследования можно пренебречь координатой «время». Однако, как будет показано в дальнейшем, экосистемы являются весьма устойчивыми объектами, что определяет их длительное формирование и существование. То же самое можно сказать и относительно таксонов организмов. Они возникли не вчера и исчезнут не завтра, каждый из них имеет длительную и сложную историю («родословную»), измеряемую иногда десятками и сотнями миллионов лет. Для изображения исторически-динамического состояния биологических объектов применяются схемы типа «генеалогическое древо», ведущей координатой которых является время. Пример такой схемы приведен на рис. 2. 16.

Заштрихованные области на этом рисунке характеризуют время существования отдельных групп животных (в соответствии с высотой областей) и примерное количество их видов внутри групп (по ширине областей). Естественно, что построение подобного рода схем требует привлечения большого количества палеонтологических материалов (сведений об ископаемых организмах).

Из рассмотрения рис. 2. 16 видно, что позвоночные животные возникли не позднее середины ордовикского периода. Утверждение «не позднее» означает, что, вероятнее всего, какие-то их формы (в частности, бесчелюстных животных) существовали и ранее, но мы не имеем об этом сведений. Отсутствуют они по следующим двум основным причинам. Во-первых, из многих тысяч организмов в ископаемом состоянии зачастую сохраняются только единицы и лишь в местах с наиболее благоприятными условиями захоронения. Во-вторых, существует понятие «неполнота геологической летописи». Оно в данном конкретном случае означает, что такие захоронения,

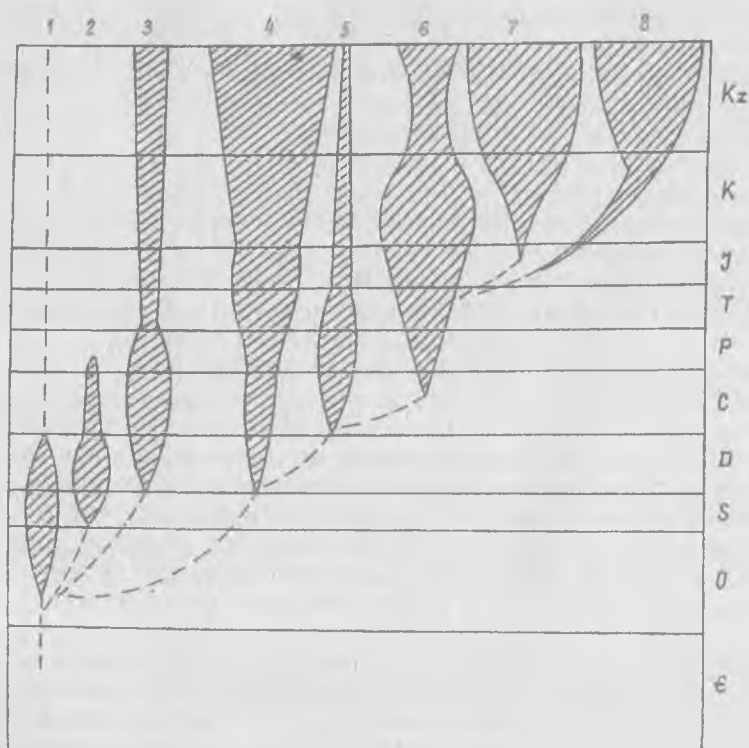


Рис. 2.16. Филогения хордовых (позвоночных животных:)

1—бесчелостные; 2—панцирные рыбы; 3—хрящевые рыбы;
4—костные рыбы; 5—амфибии; 6—рептилии; 7—птицы; 8—млекопитающие

возможно, существовали, и но были полностью уничтожены последующими процессами.

Однако и схемы филогенеза типа рис. 2.16, как и таксономические «древа» (рис. 2.1) односторонни: на них полностью исчезает пространственная составляющая. С точки зрения современных представлений о пространстве и времени такое их разделение недопустимо.

В качестве наглядного примера приведем краткое описание окружающего нас мира, данное в работе Т.Д. Пикашовой (1983): «Когда мы глядим на окружающий нас мир (для большей наглядности представим себе ясную звездную ночь), то мы видим совсем не пространство, а именно пространство-время в некотором нетривиальном

срезе. Чем дальше от нас предмет (звезда), тем раньше должен был выйти оттуда свет, чтобы прийти к нам в данный момент наблюдения. Таким образом, перед нами оказывается «слоеный пирог» из пространства и времени (время нам иначе и не дано, кроме как

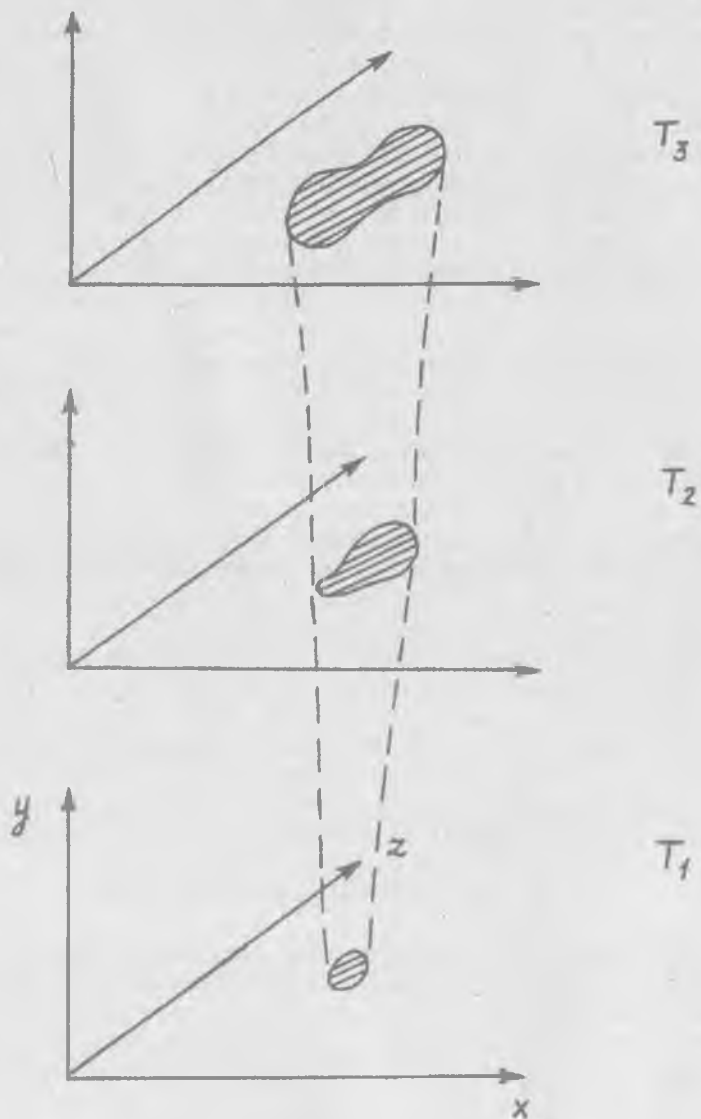


Рис. 2.17. Пространственно-временная схема таксона

совершение события в пространстве), и такой «пирог» научно называется *световым конусом*» (с. 166-167).

В аспекте единства пространства и времени история любого таксона может быть представлена в виде схемы, изображенной на рис. 2.17. Схема представляет собой пространственные координаты x, y, z , перемещающиеся вдоль временной координаты t , в моменты времени T_1, T_2 и T_3 . Заштрихованные плоскости — ареалы данного таксона в различные моменты времени.

Построение таких схем — дело будущего, так как они требуют накопления значительного фактического материала.

Не стоит пугаться якобы появлявшейся при этом «сложности», связанной с «многомерностью» (к трем пространственным координатам добавляется четвертая — координата времени). По этому поводу еще А. Эйнштейн писал следующее: «Когда нематематик слышит о «четырёхмерном», его охватывает мистическое чувство, подобно чувству, возбуждаемому театральными привидениями. Тем не менее нет более банального утверждения, чем то, что окружающий нас мир представляет собой четырёхмерный пространственно-временной континуум... Физическое пространство, постигаемое через объекты и их движения, имеет три измерения, и положения объектов характеризуется тремя числами. Момент события есть четвертое число. Каждому событию соответствует четыре определенных числа. Поэтому мир событий образует четырёхмерный континуум. В этом нет ничего мистического, и последнее предложение одинаково справедливо и для классической физики, и для теории относительности» (1965, с. с. 194, 294).

Идея рассматривать организмы в координатах «пространство-время» отнюдь не является открытием авторов. Она логически вытекает из фундаментальных достижений современной физики, которая однозначно определяет, что время и пространство взаимозависимы. Более того, материя (как неживая, так и живая) не является чем-то отвлеченным от этих координат, а является как бы сгустками искривленного пространства и времени.

2.4. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ

Проблема происхождения жизни — одна из наиболее сложных как в науке, так и вообще в мировоззрении человека. Ее экологическое значение неоспоримо, так как только после ее окончательного решения можно будет с уверенностью сказать, что мы в достаточной мере овладели знаниями в механизмах, регулирующих отношения живого с неживым.

С незапамятных времен существовали представления о возможности внезапного самозарождения жизни (например из воды, пыли

и других субстанций) под воздействием, духовной силы на безжизненную материю. Именно так происхождение жизни трактуют практически все религии. Только в эпоху Ренессанса начинает возрождаться материалистическое понимание мира, в том числе и самозарождения организмов (Декарт).

Однако при более глубоком познании живых организмов возможность внезапного их самозарождения становится все более гипотетичной, что окончательно было доказано в середине прошлого века классическими работами Луи Пастера. Широко известен в наше время процесс пастеризации, заключающийся в уничтожении микроорганизмов длительным нагреванием (при температуре, не превышающей 100°C), после чего их самовозрождение в данной среде невозможно (при достаточной изоляции среды),

Принцип Реди (заново сформулированный В.И. Вернадским в 1924 году) гласит: живое происходит только от живого, между живым и неживым веществом не существует переходной границы. По крайней мере, в наши дни (а точнее, при сформированной биосфере) зарождение жизни из неживого невозможно хотя бы по той причине, что существующие формы жизни уничтожили бы ее в силу причин, о которых мы уже писали выше (см. подраздел 1.8).

В то же время принцип Реди не отрицает возможности возникновения (*абиогенеза*) органических соединений из неорганических. Такие процессы широко известны и используются в химической технологии. Однако возникновение таким путем органических соединений еще не означает, что они имеют какие-то признаки жизни. Скорее наоборот, иногда они весьма токсичны по отношению к жизни, о чем будет сказано в других разделах книги.

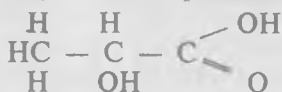
Принцип Реди ставит под сомнение и полную автотрофность человечества ввиду того, что живое вещество обладает *киральной чистотой*, т.е. свойством несовместимости со своим зеркальным отражением. Так как многие гетеротрофы для нормального существования требуют киральной чистой пищи, то их вряд ли устроит пища синтетическая, которая обладает зеркальной симметрией («левых» и «правых» молекул образуется одинаковое количество).

Белки живых организмов построены только из «левых» (или левовращающих, поляризующих свет влево) аминокислот. Нуклеиновые кислоты, наоборот, состоят исключительно из «правых» (или правовращающих, поляризующих свет вправо) сахаров.

Существование «левых» и «правых» форм в науке получило название *оптической изомерии*. Так как данное явление имеет, несомненно, важное значение для познания сущности и условий происхождения жизни, рассмотрим его подробнее.

Впервые данное явление было отмечено на примере *молочной кислоты*.

Молочная кислота (α — оксипропионовая) общей формулы



была открыта в 1780 году немецким химиком и фармацевтом Шееле в прокисшем молоке, откуда она и получила свое название. Позже было обнаружено, что эта кислота образуется при закисании и других продуктов (она содержится в кислой капусте, соленых огурцах, образуется при созревании сыра и т.д.). Закисание этих продуктов обусловлено жизнедеятельностью молочнокислых бактерий, попадающих из воздуха.

Позднее, в 1804 г., шведский химик Берцелиус обнаружил, что вещество, подобное молочной кислоте, содержится также в мышечной ткани. В 1832 г. немецкий химик Либих выделил эту кислоту из мышц и исследовал, назвав ее мясомолочной кислотой. Он нашел, что по составу и ряду свойств эта кислота тождественна молочной кислоте брожения.

Молочная кислота в мышцах является продуктом расщепления запасного полисахарида мышц (животного крахмала или гликогена). Во время работы содержание молочной кислоты в мышцах резко возрастает, во время отдыха часть ее опять превращается в гликоген, а другая часть окисляется до CO_2 и H_2O .

Позже было установлено, что не только состав, но и строение молочной кислоты брожения и мясомолочной кислоты совершенно одинаковы. Однако некоторое отличие в их свойствах все же есть: молочная кислота брожения не обладает оптической активностью, тогда как мясомолочная кислота вращает плоскость поляризованного света вправо.

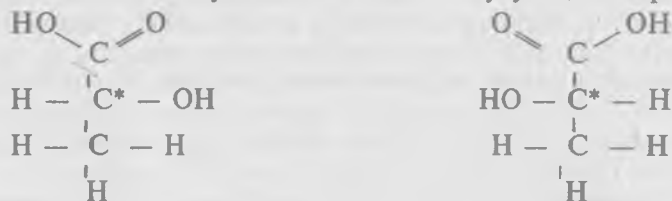
Еще позже было установлено, что при сбраживании сахаров при помощи особого возбудителя брожения (*Bacillus acidi laevolactini*) образуется молочная кислота, обладающая способностью вращать плоскость поляризованного света влево, причем на тот же угол, на который мясомолочная кислота вращает вправо.

Французский ученый Пастер, изучая виннокислотные кислоты, в 1860 г. высказал мысль о том, что существование «левых» и «правых» форм молекул связано с наличием асимметричной группировки в молекуле, т.е. с наличием разных атомов или групп атомов, которые связаны в пространстве различным образом.

Идею Пастера развили независимо друг от друга голландский ученый Вант-Гофф и француз Лебель, которые в 1874 г. опубликовали теорию, в соответствии с которой оптически активные изомеры содержат атом углерода, связанный с четырьмя различными атомами или группами атомов, которые в двух изомерах расположены в пространстве различным образом. Такой атом углерода получил

название *асимметрического атома*, который принято обозначать звездочкой.

В соответствии с этой теорией формулы оптических изомеров молочной кислоты могут быть записаны следующим образом:



Как видим, левая формула является зеркальным отображением правой (в зеркале левую руку мы видим такой, как будто бы она превратилась в правую).

Лево- и правовращающие формы обозначают буквами L и D (от лат. *Laevus* -левый, *Dextrum* -правый). Например, мясо-молочная кислота будет обозначаться как L (+) — молочная кислота. Знак «+» здесь означает, что хотя эта кислота относится к L — ряду веществ, но обладает правым вращением.

Если вещество состоит из разных количеств оптических изомеров, оно теряет оптическую активность. Такие вещества получили название *рацематов*. Три способа разделения рацематов впервые описал Л. Пастер. Физический способ разделения заключается в получении «левых» и «правых» кристаллов, которые позже можно отделить друг от друга. Биологический способ основан на способности некоторых микроорганизмов потреблять один оптический антипод, накапливая в питательной среде другой. Наконец, рацематы можно разделить посредством химических реакций с каким-либо оптически активным веществом.

В природе, вероятно, осуществляются второй и третий способы. Возможно, уже древние бактерии способствовали тому, что сложные органические молекулы приобретали свойства «правых» или «левых». Не исключена и роль ферментов, которые, сами будучи оптически активными веществами, действуют *стереоспецифично*, т.е. на химические связи какой-либо одной конфигурации. Наконец, известно, что вообще биологической активностью обладает лишь один оптический антипод (другой ею не обладает или обладает в меньшей мере, или обладает иным характером действия).

В литературе существуют и другие мнения. Например, Н.Ф. Реймерс (1990) считает, что на предбиологической стадии развития экосферы Земли могли возникнуть флуктуации, приведшие к формированию местных скоплений «левых» и «правых» форм. В итоге возникла узколокальная киральная чистота, которая перевела флуктуационные системы из неустойчивого состояния в устойчивое.

Длительность периода перехода от «хаоса» (рацематного состояния) через флуктуации к киральной чистоте этим автором оценивается от 10^6 до $5 \cdot 10^7$ млн. лет. Таким образом, по Н.Ф. Реймерсу, зарождение жизни на Земле могло произойти относительно мгновенно, за отрезок времени, в 5 тысяч раз меньший, чем возраст планеты, где-то 3,75 млрд. лет назад, а может и раньше.

Как и закон физико-химического единства живого вещества, киральная чистота обуславливает единство живого вещества независимо от того, какого оно происхождения — космического или чисто земного.

А.И. Опарин (1957, 1968, 1979) указывает, что в основе материального процесса, приведшего к зарождению жизни, лежала прогрессивная эволюция все усложняющихся углеродистых соединений и формировавшихся из них многомoleкулярных органических систем. Добиологический эволюционный путь он подразделяет на два этапа: химический и предбиологический. В отличие от Н.Ф. Реймерса, А.И. Опарин считает, что высокая чистота оптической асимметрии современной протоплазмы, скорее всего, возникла уже только на биологическом этапе эволюции.

Весьма интересно отметить, что оптической активностью, кроме живых организмов, обладают еще некоторые фракции нефтей. Это их свойство еще в 1885 г. открыл Био. Большинство нефтей имеет правое вращение и только из некоторых наряду с правовращающими фракциями выделены левовращающие (например, нефти Индонезии — Явы, Борнео и др. островов). Это является одним из доказательств органического происхождения нефтей. Установлено также, что с возрастом оптическая активность нефтей падает. Это можно объяснить стремлением оптически активной системы к термодинамическому равновесию. Большинство исследователей склоняется к тому, что оптическая активность нефтей связана с наличием в ней холестерина (вторичный полициклический спирт) и продуктов его разложения, которые имелись в нефтематеринском веществе (Бурдынь, Закс, 1975).

Однако в рассуждениях можно исходить также из обратного, если допустить, как это делают многие серьезные исследователи (В.Б. Порфирьев, Н.А. Кудрявцев и др.), что нефть — глубинного, магматического происхождения. Кстати, такую возможность допускал и Д.И. Менделеев. Тогда получается, что оптически активные сложные построенные органические соединения могли быть позайствованы из древних нефтей (в настоящее время наиболее древние нефти относятся к осадочным породам кембрийского возраста, но нет оснований считать, что они не существовали и в протерозое). То, что основная масса нефтяных залежей приурочена к значительным глубинам (2 - 3 км и глубже) — не является препятствием для выска-

зываемой гипотезы, так как и сегодня во многих районах мира, известны выходы нефти на земную поверхность, в том числе и на дно прибрежных частей морей, по разломам и трещинам. Раньше в местах таких выходов проводили бурение и открывали нефтяные залежи на глубине. Возможность заимствования оптически активных компонентов из нефти существенно упрощает механизм получения кирально чистых веществ, которые мы наблюдаем в живых организмах.

К тому же представить себе, что примитивные протобионты взяли у природы (из нефти) готовое, а не трудились в поте лица над созданием вещества необычайной сложности (получение многих из которых даже сейчас человеку с его мощной техникой не под силу), значительно проще, чем понять, как из живых организмов образовалась нефть, которая почему-то оказалась закупоренной в горных породах порой на глубинах 5-6 км.

Свою гипотезу авторы назвали *нефтеорганической гипотезой происхождения жизни* и считают, что она вполне логично и достаточно просто объясняет одно из труднообъяснимых свойств живого вещества — его киральную частоту. Мы не обманываем себя надеждами, что гипотеза сразу же будет принята с восторгом — слишком уж она необычна. Но разве не удивителен и тот факт, что оптическая активность нефти была открыта более чем 110 лет назад, но до сих пор так и не установлено, какие индивидуальные компоненты ответственны за свойство, присущее только живому веществу? Ведь в данном случае неживое вещество (нефть) имеет одно из важнейших свойств живого вещества, а этого, по идее, не должно быть!

Тем не менее, в дальнейшем при изложении материала мы будем придерживаться более или менее общепринятых представлений о происхождении жизни.

Авторы разделяют натурфилософские воззрения А.И. Опарина, которые он изложил в своей книге «Материя — жизнь — интеллект». Название книги — своеобразная формула. Из этой формулы следует, что жизнь всецело материальна по своей природе. Не она порождается интеллектом, а наоборот, сам интеллект возникает как результат прогрессивного развития материи.

Как уже отмечалось выше, начальным добиологическим этапом зарождения жизни является химический этап.

Исходными веществами для получения более сложных соединений первоначально были простые углеводороды, аммиак и вода (эти вещества в том или ином количестве известны и на других планетах Солнечной системы).

На первых порах имели место реакции углеводородов с водой, что привело к образованию таких органических соединений, как

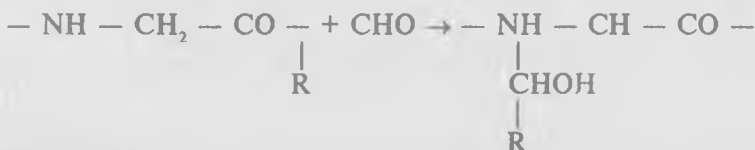
спирты, альдегиды, кетоны и кислоты. Эти органические вещества могли быть относительно легко получены в присутствии природных катализаторов. Реагируя с аммиаком, они образовали соли аммония, амиды и амины. Взаимодействие этих соединений в соответствующих физико-химических и термодинамических условиях могло привести к образованию аминокислот.

С. Миллер (*Miller*, 1953) проводил опыты с тихими электрическими разрядами в среде, состоящей из смеси метана, водорода, аммиака и водяных паров. В итоге им были получены такие аминокислоты как α — и β — аланин.

С. Акабори (*Akabori*, 1956) обосновал возможность образования также первичных протеинов. Он считает, что сначала из циановой кислоты, аммиака и формальдегида образовался аминонитрил $\text{H}_2\text{N} - \text{CH}_2 - \text{CN}$, который путем полимеризации на поверхности глинистых частиц превратился в полиглицин:



В полиглицине активен радикал CH_2 , вследствие чего образуются различные боковые цепи путем конденсации с альдегидами различного типа:



При разрастании молекул первичные протеины приобрели характер коллоидов и образовали своеобразный праорганизм — *коацерватную каплю*.

Для понимания дальнейшей эволюции *пробионтов* (или *зобионтов* по терминологии Е. Брода) важно уяснить, что с позиций современной дарвиновской теории не могут эволюционировать только отдельные органы какого-либо организма. Поэтому бессмысленно говорить и о том, что сначала возникли отдельные органы, а потом осуществилась их сборка. Они могли возникнуть и прогрессивно развиваться только в целостном организме.

В свете сказанного теряет смысл выяснять, что возникло раньше — белки или нуклеиновые кислоты? Как считает А.И. Опарин, первоначально на молекулярном уровне могли возникать лишь белково и нуклеиноподобные полимеры, лишенные какой-либо биологической «целесообразности» своего внутримолекулярного строения; только при сочетании этих полимеров в многомолекулярные фазообособленные системы они, взаимодействуя между собой, взаимосогласовывали свое внутримолекулярное строение и биологи-

ческие функции в результате естественного отбора, но не отдельных молекул, а целостных открытых систем (пробионтов). Такие системы удается получить и в лабораторных условиях.

А.И. Опарин в своих опытах использовал коацерватные капли Бунгенберг-де-Йонга, получаемые при простом смешивании различных полимеров. При этом смешивании происходит неспецифическая самосборка полимерных молекул в многомoleкулярные фазовообособленные образования, отделенные от окружающей среды резкой границей раздела, но способные поглощать вещества и энергию внешнего раствора по типу открытых систем. В опытах многие из этих веществ претерпевают полимеризацию, а возникшие при этом полимеры входят в состав самих капель. За их счет капли растут, а также дробятся на дочерние образования (рис. 2.18). Очень существенно то, что скорость этих процессов в основном зависит от состава и внутреннего строения каждой индивидуальной капли. В результате этого разные капли, находящиеся в одном и том же растворе, растут с различной скоростью (рис. 2.19), а иногда даже растворяются и исчезают.

А.И. Опарин считает, что таким образом экспериментально продемонстрированы зачатки естественного отбора — закономерности,

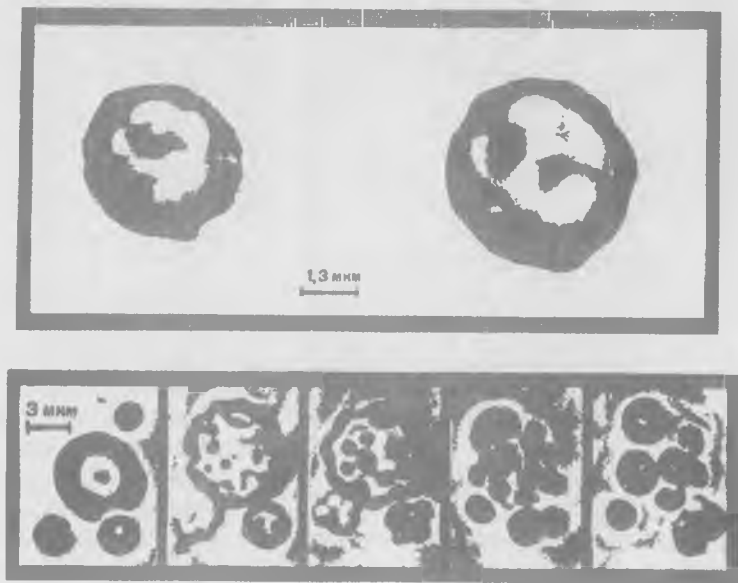


Рис. 2.18. Вверху: рост коацерватной капли в результате ферментативного синтеза в ней полиадениловой кислоты (слева - 15 мин, справа - 2 ч после начала синтеза) Внизу: последовательные стадии дробления капли



Рис. 2.19. Дифференциация коацерватных капель по скорости роста

которая легла в основу всей последующей эволюции такого рода систем на пути к возникновению жизни.

Таким образом, уже в коацерватных каплях мы наблюдаем, по крайней мере, несколько процессов, которые в целом характерны для биологической эволюции, хотя и относятся еще к предбиологическому этапу. Это саморегулирование, автокатализ (один из продуктов случайно вступивших в реакцию веществ оказывается катализатором), самоусложнение (рост) и деление (размножение). Перечисленные процессы привели к тому, что протобионты приобрели способность превращать в устойчивые (гомеостатические) состояния, которые с физической точки зрения неустойчивы (а это уже одно из важнейших свойств живых организмов).

Впервые возможности саморазвития структур неограниченно расширились с появлением цепочек углеводов. Именно углеводороды позволили перешагнуть тот критический предел сложности в 1000 информационных единиц, который позволяет, согласно теореме Дж. Неймана,

системам дополнительного типа развиваться с усложнением своей структуры без «помощи» со стороны окружающей их среды, (Нейман, 1971).

В своих опытах А.И. Опарин наблюдал деление (дробление) коацерватных капель. Однако простое деление не приводит к изменению ни структуры, ни состава вещества. Чтобы у него появилось еще одно свойство, уже неизвестное в абиотической природе, — способность к *мутациям*, необходимо дальнейшее усложнение вещества. Чем более сложно построено вещество, тем больше вероятность, что при его «сборке» из элементарных «кирпичиков» где-то произойдет сбойка, случайная ошибка, т.е. мутация.

В автокаталитической системе «белок — нуклеиновая кислота» катализатором обычно выступает белок, а нуклеиновая кислота в ходе размножения обычно контролирует сборку не только собственных «копий», но и точных двойников «своего» белка. Наличие случайной ошибки при сборке приведет к образованию двух ветвей — точных копий и мутантов. Может появиться и такой мутант, который будет обладать повышенной скоростью размножения. В ходе конкуренции он вытеснит точные копии. Таким образом, возникает процесс усложнения структур, сопровождающийся конкуренцией «предков» с «потомками».

На данном этапе возникают своеобразные «ножницы». С одной стороны, среди «потомков» должна быть определенная доля точных копий, иначе они исчезнут сами по себе, даже без всякой конкуренции. С другой стороны, появление все большего и большего количества мутантов повышает вероятность благоприятных отклонений и, следовательно, успех в конкурентной борьбе. Реализация этих двух сторон процесса приводит к бесконечной цепочке нестационарных состояний и бесконечному усложнению и удлинению нуклеотидных цепей.

Однако при этом им все труднее производить необходимое число «правильных» копий. Поэтому наступает следующий этап (ступень) эволюции — объединение молекул в иерархические структуры. По М. Эйгену (1973), весьма вероятной формой такой кооперации являются гиперциклы белково-нуклеиновых молекул. Их особенностью является то, что каждая цепочка нуклеотидов кодирует «свою» полипептидную цепь, а та, в свою очередь, катализирует синтез другой белково-нуклеиновой молекулы. Ферментативная связь между молекулами замыкается в цикл (рис. 2.20). Связь с соседней молекулой может быть не только каталитической — белок может обеспечивать полимеризацию, регулирование обмена и другие процессы. Достаточно, чтобы одна из связей в цикле была каталитической, чтобы вся структура приобрела автокаталитические свойства — способность неограниченное число раз воспроизводить себя в копиях при наличии исходного вещества и энергии, вместе



Рис. 2.20. Схема связей в циклической системе белково-нуклеиновых молекул (по М. Эйгену, 1973)

с тем такая система сохраняет способность к мутациям и, следовательно, к отбору в ходе конкуренции. Частные молекулы, объединенные в кольцевую иерархию, напротив, конкурентные отношения заменяют согласованным функционированием. В конкуренции цикл выступает как единое целое.

Отметим два новых свойства циклических систем. Во-первых, они способны «самоочищаться», т.е. освобождаться от тех белково-нуклеотидных цепей, которые снижают жизнеспособность циклической структуры. Во-вторых, соединение элементарных свойств автокаталитического типа резко увеличивает разнообразие возможных программ поведения, т.е. возможности отбора наиболее совершенных вариантов (ускорение эволюции).

Таким образом, с добавлением каждой новой структуры, организованной по типу обратной связи, строение систем приобретает все больше свойств живого вещества. Расширяется диапазон их адаптации условиям среды, появляется способность к размножению, мутации. По мнению М. Эйгена, на уровне микромолекул мы уже имеем сумму качеств, необходимую и достаточную для создания в ходе дальнейшей эволюции всего разнообразия форм жизни.

Уже на биологическом этапе эволюции существенное значение имело появление избирательно проницаемой липидной мембраны — клеточной оболочки. Она обеспечила реальное достижение компромисса между требованием предельной закрытости системы (для снижения риска гибели от внешних воздействий) и необходимостью осуществлять обмен энергией и веществом со средой (для роста и размножения).

Оказалось полезным и пространственное выделение ряда функций; хранения и передачи наследственной информации (ядро), энергоснабжения (митохондрии), транспорта (мембрана). С разделением функций связан о появлении способности к регенерации поврежденных клеточных органов.

С появлением внутренней среды саморегулируемая система (клетка) стала пространственно обособленной областью низкой энтропии. Посредством процессов метаболизма мембрана клетки извлекает из среды энергетически ценные вещества, а высокоэнтропийные «отходы» выбрасывает наружу (Шноль, 1979).

Дальнейшая эволюция привела к созданию многоклеточных организмов. Однако рассмотрение особенностей их возникновения и функционирования уже не является темой данного подраздела.

С экологической точки зрения важно подчеркнуть, что все важнейшие «находки» эволюции (адаптация к условиям среды, размножение, самосовершенствование и др.) сохранились и на последующих ее этапах, поэтому должны учитываться при изучении любых сообществ организмов и любых экосистем. В отличие от общепринятого деления всех факторов на абиотические и биотические, мы предлагаем эти «находки» выделить в группу *эволюционных факторов*, непосредственно связанных с зарождением жизни на Земле и самосовершенствованием ее форм.

2.5. ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЗМОВ

Рассмотрение эволюции организмов начнем с геохронологической шкалы. Для этого, по крайней мере, есть две основные причины. Во-первых, сама шкала первоначально строилась на основании изучения эволюции организмов (об этом свидетельствует хотя бы наличие вставки «зой» в названиях геологических эр). Во-вторых, невозможно говорить об эволюции без привязки этого процесса к каким-то историческим «реперам» (опорным точкам).

Таким образом, геохронологическая шкала по сути является геохронологией жизни на земле и отражает временную последовательность развития живого вещества, а также истории взаимодействия между ним и абиотической средой, что приводило к более или менее

постепенному изменению биосферы и населяющих ее организмов (смена видового состава в общем направлении от низших форм к высшим). Одновременно происходили изменения абиотической среды. Биогенное преобразование поверхности планеты и ее оболочек привело к изменению состава атмосферы, образованию озонового экрана, формированию почвенного слоя, возникновению таких ранее невиданных горных пород как известняк-ракушечник, коралловые постройки, пласты ископаемых углей и др.

Поэтому, изучая эволюцию организмов, необходимо ее изучить совместно со средой, что более полно нами будет сделано в дальнейшем при характеристике эволюции оболочек Земли и экосистем. Еще В.И. Вернадский писал, что нельзя изучить и понять организм, познать его форму и жизнедеятельность, не исследуя и не зная среды жизни. Реальный организм неразрывно связан с окружающей его средой и отделить его от этой среды можно только мысленно.

Итак, геохронологическая шкала, о которой мы говорили выше, имеет следующий вид (табл. 2.2)

Таблица 2.2

Геохронологическая шкала (без указаний эпох)

Эра, ее индекс и продолжительность, млн лет	Период, его индекс и продолжительность, млн лет	
1	2	
Кайнозойская, Kz 67 - 70	Четвертичный, Q Неогеновый, N Палеогеновый, P	1,5 - 1,5 25 41
Мезозойская, Mz 165 - 170	Меловый, K Юрский, J Триасовый, T	70 55 - 58 40 - 45
Палеозойская, Pz 310 - 385	Пермский, P Каменноугольный, C Девонский, D Силурский, S Ордовский, O Кембрийский, e	45 65 - 70 55 - 60 30 - 35 60 - 70 70 - 80
Протерозойская, Pz 2000 Архейская, Ar 1500 - 2000		

Из рассмотрения данных этой таблицы видно, что каждая последующая геологическая эра короче по сравнению с предыдущей. Так, длительность палеозойской эры (эры «древней жизни») почти в шесть раз меньше по сравнению с протерозойской (эрой «первичной жизни»). Мезозойская эра (эра «средней жизни») длилась в два раза меньше времени, чем палеозойская. Примерно то же самое можно сказать и о кайнозойской эре (эра «новой жизни»; правда, эта эра еще продолжается).

Такое соотношение длительности эр отнюдь не случайно: оно отражает закон ускорения эволюции. Сущность закона состоит в том, что скорость формообразования с ходом геологического времени увеличивается и высокоорганизованные формы существуют меньшее время, чем низкоорганизованные. А так как основными «реперами» при построении геохронологической шкалы являются глобальные перемены в органическом мире при переходе из одной эры в другую, то ускорение формообразования в ходе эволюции и дало отмеченный выше результат в соотношении длительности эр.

Подсчитано, например, что средняя продолжительность существования вида птиц составляет 2 млн лет. Для млекопитающих, как более высокоорганизованной группы животных, этот показатель сокращается до 0,7 - 0,8 млн лет. Минимальная продолжительность существования вида, как правило, не ниже 50 тыс. лет.

Некоторые другие общие законы эволюции (необратимости, направленности; принцип эволюции Л. Онсагера и др.) нами уже рассмотрены выше (в подразделе 1.8).

История жизни на земле насчитывает более 3 млрд. лет. Даже в очень древних архейских и протерозойских формациях найдены глинистые и кристаллические сланцы, содержащие свободный углерод. Вполне допустимо, что он является остатком некоторых форм жизни. В известняках системы Булаваян в Центральной Африке с возрастом около 2,6 млрд лет были найдены структуры, которые интерпретируются как отпечатки простейших водорослей. На северном берегу Верхнего озера в кремнистых сланцах формации Ганфлинт (возраст примерно 1,9 млрд лет) найдены хорошо сохранившиеся остатки бактерий. Подобного рода «свидетельства жизни» найдены и в других регионах Земного шара.

Первоначально жизнь, вероятнее всего, развивалась очень медленно, вплоть до появления фотосинтезирующих зеленых бактерий (водорослей) около 1,5 - 2,0 млрд лет назад. В какой-то отрезок времени количество кислорода в атмосфере достигло достаточно высокого уровня для дыхания (точка Пастера, равная приблизительно 1% современного количества кислорода в атмосфере), вследствие чего могли появиться более сложные организмы (*Metazoa*).

По данным Б. Мейсона (1971), это событие произошло примерно 1 млрд лет назад.

По мнению других авторов, уже в археозое была достигнута точка Пастера, что сделало возможным существование аэробных форм жизни. В современную эпоху накопление кислорода идет очень интенсивно; в атмосфере он полностью обновляется примерно за 20 тыс. лет. И это — абсолютная заслуга фитофторы, ибо неживая природа свободный кислород не образует, а, наоборот, его связывает в различных химических процессах, например, при выветривании. Наиболее характерным примером «потребления» кислорода является окисление, выражающееся в переводе закисных низковалентных соединений в высоковалентные.

Предполагается, что первоначально жизнь возникла в водной среде.

Именно в этой среде мы видим большое разнообразие условий для жизни организмов. Это обстоятельство, наряду с геологической древностью океана и обширностью площади, им занимаемой, объясняет изобилие и разнообразие морской фауны. Особенно благоприятна для организмов мелководная (до 200 м) или *неритовая* область моря. В этой области водная толща пронизана солнечным светом, имеется постоянное движение воды, близки источники питания минеральными веществами с суши, неглубоко залегает дно (субстрат для прикрепленных форм организмов). Еще разнообразнее условия жизни в лагунах речных дельтах, реках.

Особенно разнообразны физико-химические условия на суше. Однако суша, как арена жизни, организмами была освоена все же значительно позже, чем водная среда.

Дж. Андерсон (1985) считает, что первые формы жизни, возникшие около 3 млрд лет назад (прокариоты), развивались в мелководных морях и бассейнах на глубине более 10 м, что предохраняло их от губительного ультрафиолетового излучения. Эти одноклеточные организмы, вероятно, были гетеротрофами, т.е. нуждались лишь в простых, органических соединениях, синтезированных абиогенным путем. Параллельно существовали хемоавтотрофные бактерии, окислявшие сероводород до серы. Огромные запасы серы в земной коре свидетельствуют о том, что в геологическом прошлом эти бактерии играли существенную роль в биосфере. Возможно, их существенно потеснили автотрофы, использовавшие в качестве источника энергии солнечный свет и фиксировавшие азот таким же способом, как это сейчас делают сине-зеленые водоросли. Фиксация азота, вероятно, ускорила накопление фотосинтезирующей биомассы и, следовательно, увеличила скорость поступления кислорода в атмосферу. В результате возникновения аэробного метаболизма энергии стало производиться на одну молекулу в 30-50 раз больше, чем

при анаэробном дыхании. Это привело к тому, что общая первичная продукция значительно превысила расходы на дыхание автотрофов, т.е. создались условия для расцвета гетеротрофов.

Часть недоокисленного органического вещества захоронялась. Количество недоокисленного углерода, накопленное в горных породах Земли, по Дж. Андерсону, эквивалентно $13 \cdot 10^{15}$ т кислорода, который был произведен фотосинтезирующими организмами. В атмосфере в настоящее время находится $1,2 \cdot 10^{15}$ т кислорода и еще около $0,6 \cdot 10^{13}$ г растворено в гидросфере, т.е. современная атмосфера содержит всего около 1% фотосинтетического кислорода. Остальная его часть израсходована на процессы окисления и образования различных окислов, сульфатов, карбонатов, силикатов, фосфатов, а также некоторой части воды.

Одной из причин невыхода жизни на сушу в протерозойскую эру, несомненно, было отсутствие в атмосфере озонового слоя. Для понимания этого необходимо рассмотреть спектральный состав приходящего солнечного излучения. Примерно 41% энергии заключен в видимой области спектра (400-710 нм), 50 % заключено в инфракрасной (710-3000 нм) и 9% — в ультрафиолетовой. Земной поверхности достигает основная часть излучения видимой части спектра, 30% инфракрасной и ближняя часть ультрафиолетовой. При этом одна пятая инфракрасного излучения поглощается пылью, углекислым газом и водяным паром, превращаясь в тепло и ультрафиолетовое излучение (180-300 нм).

До появления кислорода в атмосфере поверхность Земли подвергалась интенсивному ультрафиолетовому облучению, губительному для жизни. Однако уже после появления весьма незначительного количества кислорода (возможно, долей процента или первых процентов) сформировался озоновый экран, и ультрафиолетовое облучение поверхности Земли прекратилось.

Некоторые авторы считают, что формирование полноценной озоносферы стало возможным после достижения количества кислорода в атмосфере Земли 10% от современного (*вторая точка Пастера*). В настоящее время максимальная концентрация озона наблюдается на высоте 22-42 км. В целом количество озона в атмосфере незначительно (эквивалентный слой толщиной 0,3 см при высоте ртутного столба 750 мм), однако его роль для существования жизни неопределима.

Отсутствие жизни на суше Земли в архейскую и протерозойскую эры можно объяснить многими факторами. Одним из главных следует считать большое содержание в первичной атмосфере двуокиси углерода. Атмосфера прозрачна для коротковолнового излучения, но поглощает переизлученную поверхностью Земли длинноволновую (инфракрасную) радиацию, что приводит к дополни-

тельному нагреву приземных слоев воздуха (парниковый эффект). На Венере, которая к тому же находится ближе к Солнцу, чем Земля, и в атмосфере которой преобладает CO_2 (свыше 90% ее состава), температура поверхности планеты достигает 500°C .

По современным представлениям, «рамки» существования жизни составляют $\pm 4^\circ\text{C}$ к среднегодовой температуре Земного шара. Повышение температуры на эту величину может привести к перегреву атмосферы, катастрофическому таянию ледников, повышению уровня океана на 40-50 м и затоплению низменностей материков. При этом необходимо учесть, что средняя годовая температура на поверхности океана равна 277,6 К, на поверхности суши 288 К. Следовательно, океан более инертен к глобальным колебаниям температуры. Повышение температуры океана будет благоприятствовать расселению теплолюбивых видов, в то же время могут возникнуть локальные температуры до 90-100 С, губительные для жизни.

Весьма интересную и оригинальную гипотезу о причинах выхода жизни на сушу высказал В.И. Лебедев (1981). Этот ученый считает, что к началу палеозоя все первичные запасы CO_2 в водных бассейнах практически были исчерпаны. Это послужило причиной подъема водной растительности на поверхность вод и частичного выхода на воздух. Однако, как только растения вышли на воздух, они встретились с огромным запасом нового углеродного питания в виде CO . Развившаяся опорная система растений позволила им выйти на сушу и завоевать ее обширные пространства. Все это произошло в первой половине палеозоя. Быстрое использование запасов CO к концу палеозоя послужило новой причиной быстрой эволюции наземной жизни.

Еще до недавнего времени мы почти не имели достоверных данных об эволюции органического мира в дофанерозойское (докембрийское) время. Горные породы, которые отлагались в то время, относились к «немым», так как практически не содержали остатков ископаемых организмов. Одну из таких «немых» толщ на Урале геолог Н.С. Шатский назвал *рифейской*. Верхнюю часть рифейских отложений Б.С. Соколов в 1950 г. назвал *вендскими*. Именно в них было обнаружено несколько видов бесскелетных животных, в том числе своеобразная форма *Vendia sokolovi Keller*, напоминающая лишенного панциря «голового трилобита» (снимки этих форм впервые опубликованы в 1963 г.).

Б.М. Келлер (1979) считает, что после *лапландского оледенения* (датируется низами венда и представлено ископаемыми моренами-*миллитами*) имело место быстрое расселение беспозвоночных животных, лишенных твердого скелета в виде панциря или раковины, чем и объясняется редкость их нахождения в ископаемом состоя-

нии. Просуществовав около 50-70 млн лет, от подошвы валдайской серии (синоним венда), примерно 600-620 млн лет назад, до подошвы балтийской серии кембрия, 550-570 млн лет назад, они сменились ассоциацией форм с твердым скелетом (очевидно, продолжали существовать и многие бесскелетные формы).

Более или менее данные об эволюции органического мира в фанерозое мы имеем на основании многочисленных палеонтологических данных. Эту информацию ниже приводим в весьма сжатом виде, так как по данному вопросу существует весьма обильная литература, с которой желающие могут легко ознакомиться.

Уже в раннем палеозое (это примерно 500-600 млн лет назад), охватывающем кембрийский, ордовикский и силурский периоды, органический мир был достаточно разнообразен. Растительный мир в море представлен различными водорослями, а на суше — мхами и псилофитами. Среди животных известны исключительно морские формы: трилобиты, плеченогие, граптолиты, археоциаты.

В позднем палеозое кроме водорослей широкое развитие получили споровые растения. С середины девона появились хвощевые, плауновые и папоротники, в карбоне — голосеменные, в ранней перми — хвойные, цикадовые, гинговые. Дальше развиваются беспозвоночные животные. Наиболее широко распространены плеченогие, брюхоногие, кораллы, головоногие моллюски и др. Появились и активно развивались бесчелюстные (ракообразные), рыбы, земноводные, пресмыкающиеся.

В мезозойскую эру происходят значительные преобразования в органическом мире. Из растений широкое распространение получили голосеменные, из споровых — папоротники. В конце мезозоя повышается роль покрытосеменных. Из беспозвоночных животных наиболее характерны пеллециподы, аммониты, белемниты, морские ежи, губки. Из позвоночных животных господствующее положение заняли пресмыкающиеся, среди них крупные формы (динозавры, ихтиозавры и др.). Появляются птицы и млекопитающие.

В кайнозойской эре эволюция органического мира продолжается. Широкое распространение получили хвойные, однако господствующее место заняли покрытосеменные. Из беспозвоночных широко развиты пеллециподы, гастроподы, нуммулиты, насекомые. Однако ведущее место в животном мире заняли млекопитающие. Они приспособились к жизни в воде, на суше и в воздухе. В конце кайнозоя появился человек — одно из важнейших событий органического мира.

Основным результатом эволюции организмов, пожалуй, является их усложнение (хотя параллельно уже несколько миллиардов лет существуют одноклеточные водоросли и бактерии).

Из первого результата вытекает второй: эволюция ведет к все большему и большему видовому разнообразию. Разумеется, одноклеточные тоже могут дать множество разнообразных форм, но возможности разнообразия значительно возрастают, когда клеток в организме много. Разнообразие видов в ходе эволюции неизменно возрастает, хотя многие виды и даже более крупные таксоны вымирают. По данным палеонтологов, только в фанерозое вымерло несколько миллионов видов животных и растений. Исчезли с лица Земли даже целые типы (археоцитаты, псилофиты и др.).

Наконец, из сложности и видового разнообразия организмов вытекает третий результат: появились такие надорганизменные структуры как популяция, биогеоценоз и биосфера — оболочка Земли, сформированная жизнью.

Особую группу организмов с позиций эволюции и флогенеза составляет система бактерий. Согласно дарвинистическому принципу выживания наиболее приспособленных, должен существовать порядок, при котором приспособленный потомок отрицает неприспособленного предка. У бактерий вообще какие-либо реальные предки неизвестны, в то время как все остальные живые организмы могут быть отнесены к бактериям как их потомки. Поэтому у бактерий как бы нет формальных оснований существовать, хотя многие из известных в настоящее время бактерий. (например, микоплазмоподобный *Metallogenium*), по данным палеонтологии, существуют уже более 2 млрд лет.

Г.А. Заварзин (1979) считает, что бактерии существуют, потому что они приспособлены к существованию на Земле безотносительно к приспособленности других организмов, и это доказано всей эпохой протерозоя, когда бактерии были единственными обитателями на Земле. Значит, они могут существовать без высших организмов. Обратное, очевидно, неверно: высшие организмы без бактерий существовать не смогут, так как биогеохимические циклы непоправимо нарушатся.

Выше (см. подраздел 2.2) мы уже писали, что по крайней мере, тионовые бактерии для своего существования вообще не нуждаются в органическом веществе. Этим бактериям совершенно безразлично, есть ли рядом с ними другая жизнь или ее вообще нет. В образной форме их можно было бы назвать «абсолютно свободными гражданами Государства жизни».

С другой стороны, в соответствии с нашими представлениями именно бактерии ответственны за то, что в обозримую геологическую эпоху (а это не менее 3 млрд лет) невозможно новое зарождение жизни на Земле из неживого вещества (принцип Реди-Вернадского). При этом необходимо учесть вездесущность бактерий (они существуют в глубинных пластах Земли, в термальных источниках, в стратосфере и т.д.), а также их необычную способность к размножению

(практически по закону лавины и цепной реакции). Немаловажное значение имеет и то обстоятельство, что в отличие от большинства других живых существ бактерии выполняют функцию редуцирования отмирающего и мертвого органического вещества вплоть до полной его минерализации, т.е. доведения до первоначального элементного состава. Подвержены «нападению» бактерий практически все организмы, в том числе и высшие животные, включая человека. Об этом свидетельствуют до сих пор имеющие место эпидемии и пандемии. Что может быть проще для бактерий, как уничтожить любые признаки и формы зарождающейся жизни!

Основной движущей силой эволюции организмов следует считать изменения среды, в которой они обитают. Выше на примере выхода жизни на сушу мы показали, какие жесткие ограничения среда накладывает на возможности ее эволюции.

Этот вопрос дискутируется даже на уровне развития одной особи: что в развитии организма ведущее — наследственность или среда? В общей форме вопрос давно решен: развитие организма понимается как реализация его признаков, генетически запрограммированных, но зависящих от условий данной среды (норма реакции).

Однако при этом справедливо спросить, равномерно ли влияют наследственность и среда на различные морфологические и функциональные признаки организма в процессе их становления. Даже не специалисту ясно, что одни признаки более консервативны, т.е. более наследственно детерминированы, а другие, наоборот, изменчивы в условиях меняющейся среды. Ответ на этот вопрос позволяет дать близнецовый метод, разработанный более 100 лет назад Ф. Гальтоном.

Используя этот метод, Б.А. Никитюк (1978) показал, что ведущее влияние на темпы роста организма оказывают факторы среды (вернее, влияние наследственности оказывается низким). Причиной акцелерации развития он считает «конфликт организма со средой».

Могут быть созданы такие сверхэкстремальные условия среды, что рост организма прекратится вообще, т.е. он погибнет.

Применительно к виду это означает, что вид организмов может существовать до тех пор, пока окружающая его природная среда соответствует генетическим возможностям приспособления данного вида к ее изменениям. При глубоких изменениях условий среды генетические возможности вида адаптироваться к ним могут быть исчерпаны, и вид прекратит свое существование. Это необходимо учитывать при любых «революционных» преобразованиях природы.

М.И. Будыко (1982), изучая эволюцию головного мозга млекопитающих, пришел к выводу, что кроме существенных изменений природных условий на ускорение развития головного мозга суще-

ственно влияет еще один фактор — высокий уровень заполнения «экологической емкости» биосферы прогрессивными группами животных.

Э.И. Колчинский (1989) эволюцию связывает с постоянным разрешением противоречия между безграничной способностью организмов к размножению и ограниченностью в каждый конкретный момент геологической истории материальных ресурсов, которые могут быть использованы в процессах жизнедеятельности организмов. Разрешение этого противоречия было возможно только на пути создания все больше прогрессивных форм, способных к овладению новыми источниками вещества и энергии и к радиональному их использованию. Все это вело к общему усложнению структуры биосферы, расширению области ее распространения и увеличению числа различных органических форм.

Весьма заманчиво проблемы эволюции организмов изучать не только на макро-, но и на молекулярном уровне. В последние годы сформировалось даже особое направление генетики — *химическая палеогенетика*.

Один из творцов этой науки, дважды нобелевский лауреат Л. Полинг так выразился о ее возможностях: «Если рассматривать все природные системы, то живая материя будет стоять среди них совершенно особо. Ведь только она, испытывая очень существенные превращения, способна хранить информацию, отражающую историю ее развития. Информация эта записана в самих молекулах, составляющих живую материя. Вопрос в том — какие именно молекулы содержат информацию относительно их прошлого? Каким образом можно извлечь из них эту информацию?» (1979, с. 33).

Все же с таким утверждением можно согласиться лишь частично. Во-первых, информация о прошлом организмов содержится не только в их молекулярном коде, но и в морфологии, внутреннем строении, поведении и других признаках. И разве не «свидетельством прошлого» является тот факт, что в онтогении особи повторяется филогения вида, т.е. история его эволюции? Во-вторых, хранителями информации о прошлом являются также геологические формации. Ведь по составу, строению, условиям и другим признакам мы реконструируем не только контуры древних материков, глубины морей, но и климаты прошлых эпох.

Другие идеи Л. Полинга, на наш взгляд, весьма полезны, конструктивны и в перспективе могут содействовать существенному прогрессу и познанию эволюции организмов.

Л. Полинг считает, что максимум информации содержится в наиболее сложных молекулах и эти молекулы подразделяет на *семантофоретические, эписемантические и асемантические*.

Семантофоретические молекулы (или семантиды) несут информацию генов или ее запись. Они также делятся на три группы: первичные, вторичные и третичные семантиды. Первичными семантидами являются сами гены. Вторичными семантидами являются, например, молекулы РНК, которые считывают информацию с матрицы генов. Они, в свою очередь, являются основой для синтеза полипептидов. Поэтому полипептиды (по крайней мере, большинство из них) — это третичные семантиды.

Эписемантические молекулы являются продуктом той информации, которая заложена в семантидах. К этой категории относятся все молекулы, которые создаются ферментами в отсутствие матрицы, например молекулы углеводов и жиров.

Асемантические молекулы не образуются организмом, поэтому, ни прямо, ни косвенно не отражают никакой информации, в нем содержащейся. Они в организм могут поступать с пищей, лекарством или другими путями.

Эволюция семантид протекает, по-видимому, путем замещения преимущественно одного элемента («строительного кирпичика»). Для полипептидов — это один элемент из 50-300, а для соответствующих нуклеиновых кислот — один из 150-900. Но даже такое, на первый взгляд, незначительное замещение могло приводить к глубоким изменениям на высшем уровне органической интеграции: ведь в результате менялся установленный порядок взаимодействия молекул.

Л. Полинг приводит интересный пример, свидетельствующий о генетической отдаленности некоторых животных по отношению к человеку. Так, изучая последовательность аминокислот в гемоглобине, удалось установить, что β -цепь гемоглобина лошади отличается от соответствующего белка человека в 26 местах (всего β -цепь гемоглобина состоит из 146 аминокислот), свиньи — в 10 местах, а гориллы — всего лишь в одном месте.

Разумеется, различие человека и обезьяны не сводится к одному «кирпичику» в одной из цепей гемоглобина. Пока человек стал человеком менялось строение многих тысяч молекул белков, нуклеиновых кислот, полипептидов и других соединений. Сказанное выше является еще одним свидетельством того, насколько сложны генетические основы эволюции организмов. И если кто-то считает, что эта проблема уже решена, на наш взгляд, этот «кто-то» глубоко ошибается.

Данный подраздел завершим ссылкой на оригинальную работу А.Д. Арманда (1988), который проблему эволюции рассмотрел с позиций теории информации. По мнению А.Д. Арманда, неумолимая логика сохранения систем, наилучшим образом приспособленная к борьбе с шумом, привела к возникновению свойств, помогающих

преодолевать не только обычные по своей силе импульсы, но и из ряда вон выходящие. Среди таких свойств важнейшими представляются *копирование* (многократное дублирование информации или, говоря биологическим языком, *размножение*) и *самоорганизация*.

Пока самоорганизация существовала отдельно от размножения, созданные природой конструкции оказывались слишком уязвимыми для процессов дезинтеграции. В живом веществе соединились способность к самоорганизации с возможностями превращать неорганизованное вещество в структуры, подобные уже имеющимся образцам, и заполнять этими структурами свободное пространство. Теперь гибель одной или даже большей части «копий» уже не означала исчезновение информации данного типа и необходимости начинать синтез сначала.

Дальнейшую эволюцию А.Д. Арманд представляет весьма образно: «Цепи совершенствования структур, подвергающихся самоорганизации, чрезвычайно удлиннились, уходя в бесконечность. Отдельные эпизоды самоорганизации слились в конвейер эволюции» (1988, с. 95).

Здесь же отметим, что механизм копирования оказался настолько эффективным, что на определенной стадии эволюции появились биологические формы с двойным копированием, т.е. повторяющие «копии» не только в потомстве, но и в строении каждой особи. Впервые двойное копирование мы наблюдаем у кольчатых червей (*Annelida*), тело которых состоит из сегментов, причем каждый сегмент относительно самостоятелен и содержит свои нервные узлы, кольцевые кровеносные сосуды, выделительные органы. Разделенный на части, такой червь способен регенерироваться до полноценной особи. Как уже отмечалось в подразделе 2.1, кольчатые черви дали начало обширному и эволюционно перспективному типу членистоногих (*Arthropoda*), многие из которых также сохранили элементы копирования в строении тела.

Кольчатые черви оказались весьма жизнеспособным «творением природы». Так, род *Serpula* известен с верхнего силура и поныне. Например: в современных морях (Японское и др.) живут колонизаторские черви *Serpula vermicularis*, выделяющие защитные известковые трубки (поэтому их еще называют «трубкожилами») Из-за этих трубок род *Serpula* и близкие к нему формы относят к порообразующим организмам. В Северо-Западной Германии известен нижнемеловой *serpulum* (т.е. порода, образованная серпулами), пласт которого достигает мощности 50 м и местами сплошь состоит из трубок этих ископаемых организмов.

2.6. УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ОРГАНИЗМОВ

Важнейшей задачей экологии особей (аутэкологии) является изучение условий существования организмов. Важнейшими факторами среды, определяющими границы существования жизни, является температура, свет, вода, воздух, почва и, естественно, наличие пищевых ресурсов. Хотя, по сути, эпитет «важнейшие» является весьма условным, так как все природные условия среды, необходимые для жизни, играют равноправную роль.

2.6.1. Температура

Жизнь сохраняется при таких температурах, которые обеспечивают проявление свойств, нормальное строение и функционирование прежде всего ферментных белков. Это в среднем интервал температур от 0 до 50°C. Хотя для многих организмов интервал их жизнедеятельности шире и характеризуется следующими пределами (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Температурные пределы жизнедеятельности организмов
(Иорензен, 1959)

Среда существования организмов	Температура, °C		
	Минимальная	Максимальная	Амплитуда
Суша	- 70	55	125
Море	-3,3	35,6	38,9
Пресные воды	0	93	93

Из таблицы видно, что выход растительности и животных в ходе эволюции из моря на сушу значительно расширил температурные пределы существования жизни.

По отношению к температуре можно различать следующие экологические типы организмов: *термофильные*, *криофильные* и *мезотермные*.

К числу термофилов относят организмы, которые не могут жить и размножаться при падении температуры ниже достаточно высокого условного порога (обычно в качестве такого порога принимается температура 18-20°C). Термофилами являются все обитатели термальных источников, тропиков, внутренние паразиты теплокровных животных и др. Известны бактерии, которые живут в горячих источниках Исландии, Камчатки и других вулканических районов с температурой воды 85- 95°C. Несколько видов зеленых водорослей, существующих в верхнем слое почвы пустынь, выдерживают температуру до 65°C. Еще более высокие температуры (до 80°C) пере-

носят лишайники и семена пустынных растений. Менее устойчивы к высоким температурам животные. Однако известны ракообразные и личинки двукрылых, которые могут жить в воде с температурой 50-55°C.

К числу криофилов (или *термофобов*) относят организмы, способные жить и размножаться только при относительно низких температурах (не выше 10°C). Это в основном обитатели высоких широт, высокогорий, пещер, глубин океанов и морей. В полярных водах с температурой от 0 до -2°C наблюдается весьма богатая фауна и флора (микроводоросли, беспозвоночные, рыбы). Массовое развитие криофильных водорослей окрашивает иногда лед и снег («красный снег»).

Наконец, мезотермные организмы существуют при средних значениях температурного фактора. К мезотермам относится большинство видов умеренных широт.

Основная масса организмов не обладает функцией активной терморегуляции. Их активность зависит от тепла, получаемого извне, а температура тела зависит от температуры окружающей среды. Такие организмы называют *пойкилотермными* (*эктотермными*). Холоднокровность характерна микроорганизмам, растениям, беспозвоночным и значительной части хордовых животных.

Птицы и большинство млекопитающих способны поддерживать постоянную температуру тела независимо от температуры окружающей их среды (за счет тепла биохимических реакций). Такие организмы получили название *гомойотермных* (*эндотермных*). За счет этого многие животные могут жить и размножаться при отрицательных температурах (белый медведь, северный олень, ластоногие, пингвин). Частным случаем гомойотермии является *гетеротермия*. Она свойственна животным, впадающим в зимнюю спячку (медведи, суслики, ежи, летучие мыши и др.). При этом температура их тела заметно понижается за счет замедленного обмена веществ (Богданова и др., 1985).

Лишайники, некоторые моллюски, насекомые способны жить в широком интервале температур. Это *эвритермные* организмы. Среди позвоночных животных наиболее эвритермными являются некоторые рыбы, крупные хищники (пума, тигры, медведи).

Стенотермные организмы живут в узких температурных пределах и делятся на теплолюбивые (орхидеи, чайный куст, кофе, какао, кораллы) и холоднолюбивые (растительность тундры, рыбы полярных бассейнов, обитатели абиссали).

Такую термоспециализацию организмов некоторые авторы объясняют только простой адаптацией к условиям окружающей их среды. Следует отметить, что в 30-х годах среди части биологов возникло течение, сторонники которого развивали мысль о том, что

экология призвана заниматься в основном изучением адаптации. Так, М. Левин (1933) в первом издании БСЭ писал: «Экология, или ойкология, ... раздел биологии, изучающий приспособления (адаптации) животных и растений к окружающей неорганической и органической среде» (с. 192). Аналогичную позицию занимал также А.А. Парамонов, который писал: «Экология и есть наука о приспособлениях (адаптациях) животных и растений к условиям среды. Экология имеет своей задачей изучение форм приспособлений организмов к среде, а равно и тех закономерностей, которые определяют причины выживания исследуемых организмов в одних условиях или их депрессии и гибели — в других условиях» (1933, с. 404).

Такой упрощенный подход в настоящее время отрицается большинством биологов и экологов, так как не учитывает популяционно-биоценотического уровня живого и неживого. Более образно можно было бы выразиться так: чтобы тропическое кофейное дерево могло расти и плодоносить за полярным кругом, ему пришлось бы превратиться в карликовую березку, т.е. члена тундрового сообщества.

Данные, приведенные в табл. 2.3, отнюдь не являются предельными для сохранения жизни. Фундаментальное изучение морозостойкости растений и их клеток было начато Н.А. Максимовым еще в 1908-1912 гг. Его ученик И.И. Туманов впоследствии разработал теорию закалки растений. На основе этой теории удается имитировать естественный процесс осеннего закаливания и путем постепенного снижения температуры замораживать небольшие органы древесных и травянистых растений до различных температур и даже до температуры жидкого азота (-196°C) и жидкого водорода (-253°C). После постепенного оттаивания эти объекты сохраняют жизнеспособность и из них можно получить целые растения. В конце 80-х Дж. Хеншоу с соавторами показал возможность выживания верхушечных тканей (меристем) картофеля и томатов после -196°C при очень быстром замораживании и оттаивании, а М. Такеучи — культуры ткани маршунции при медленном замораживании после закаливания (Бутенко, Попов, 1979).

Эти данные свидетельствуют о возможности передачи жизни через космическое пространство (подробнее о возможности существования космических форм жизни см. в разделе 3).

В биологии и сельскохозяйственных науках практическое значение имеет *сумма эффективных температур*, характеризующая тепловой режим за вегетационный или любой другой период жизни растений и получаемая путем суммирования средних суточных температур воздуха за рассматриваемый период. На практике этот показатель получают путем суммирования ежедневного превышения среднесуточной температуры воздуха над условной величиной нижнего температурного предела вегетации растений или прохождения ими определенной фенологической фазы.

Обычно принимаются следующие значения порога вегетации: для холодостойких культур $+5^{\circ}\text{C}$, для культур умеренной полосы $+10^{\circ}\text{C}$, для теплолюбивых растений $+15^{\circ}\text{C}$. Сумма эффективных температур за период вегетации для холодостойких растений может быть меньше 1500°C , для теплолюбивых — всегда больше 2000°C (хлопчатник — свыше 3000°C , рис $3500-4000^{\circ}\text{C}$).

Однако оба выше приведенных способа расчета суммы эффективных температур для конкретных групп растений не соответствуют фактическим интервалам фотосинтеза (табл. 2.4) и поэтому могут считаться только приблизительными. Так, фотосинтез даже у тропических растений начинается при температуре $5-7^{\circ}\text{C}$ (а не $+15^{\circ}\text{C}$), в умеренной зоне он может протекать при отрицательных температурах (у вечнозеленых хвойных фотосинтез начинается при -5°C , у лишайников холодных областей при -15°C и даже -25°C). Теоретически из суммы эффективных температур следовало бы вычитать температуры (и их суммы), превышающие тепловые границы фотосинтеза (свыше $30-40^{\circ}\text{C}$).

Таблица 2.4

Температурные характеристики поглощения двуоксида углерода растениями (Реймерс, 1990)

Группа растений	Температурная граница поглощения, $^{\circ}\text{C}$		Оптимальный интервал, $^{\circ}\text{C}$
	нижняя	верхняя	
1	2	3	4
Травянистые растения:			
тропические	$5 + 7$	50-60	35-45
сельхозкультуры	$-2 + 0$	40-50	20-30
светолюбивые	$-2 + 0$	40-50	20-30
теневыносливые	$-2 + 0$	~ 40	10-20
пустынные	$-5 + 5$	45-50	20-30
раннецветы (и высокогорные)	$-7 + -2$	30-40	10-20
Древесные растения:			
тропические	$0 + 5$	45-50	25-30
жестколистые засушливых областей	$-5 + -2$	42-55	15-35
летнезеленые			
лиственные	$-3 + -1$	40-45	15-25
вечнозеленные хвойные	$-5 + -3$	35-42	10-25
тундровые кустарники	-3	40-45	15-25
Лишайники холодных областей	$-15 + -10$ (до -25)	20-30	5-15

Таблица 2.5

Суммы эффективных температур некоторых растений
(Культивасов, 1982)

Культуры	T, °C
Корнеплоды	1000 - 1500
Зерновые, лен, травы, картофель	1400 - 2200
Кукуруза, подсолнечник, сахарная свекла	2200 - 3400
Хлопчатник, кенаф, рис, кендырь	3500 - 4000
Многолетние субтропические растения (чай, цитрусовые)	свыше 4000

Значения сумм эффективных температур (ΣT) основных сельскохозяйственных культур приведены в табл. 2.5.

Для растений умеренных широт существенное значение имеет чередование в течение года холодных и теплых периодов. Такая потребность растений получила название *сезонного термопериодизма*.

Существует также *суточный термопериодизм*. Например: для тропических растений оптимальная разница между дневными и ночными температурами составляет 3-6°C, для растений умеренного пояса 5-8°C, для растений пустынь 10-20°C.

Большинство растений предпочитают *отрицательный температурный градиент*, когда температура почвы ниже температуры воздуха (Радченко, 1966). *Положительные температурные градиенты* угнетают их жизнедеятельность. Но имеются и исключения (виды, произрастающие на скалах, каменистых осыпях, комнатные растения и др.).

2.6.2 Солнечная радиация (свет)

Следующим важнейшим фактором существования организмов является *свет (солнечная радиация)*, прежде всего, как главный поставщик энергии организмам, биосфере и Земле в целом.

Земли достигает в основном *электромагнитная радиация* (лучистая энергия Солнца) в виде электромагнитных волн (фотонов). Эта радиация, как уже отмечалось в подразделе 2.2, доходит до земной поверхности в виде прямой и рассеянной составляющих. Всего Земля получает от Солнца $2,4 \cdot 10^{18}$ кал лучистой энергии в 1 мин. Излучение Солнца, проходящее к верхним слоям атмосферы, составляет $8,3 \text{ Дж см}^2$ в 1 мин. Эта величина получила название *солнечной постоянной*. Около 48% солнечной радиации приходится на видимую часть спектра (0,38-0,76 мкм), 45% — на инфракрасные лучи (более 0,76 мкм) и 7% — на ультрафиолетовое излучение

(менее 0,38 мкм). В энергетическом отношении солнечная радиация почти полностью (на 99%) заключена в диапазоне длин волн $\lambda = 0,3 - 4,00$ мкм. Инфракрасное излучение частично поглощается молекулами CO_2 и H_2O , а ультрафиолетовое — молекулами O_2 . Ультрафиолетовые лучи короче 0,29 мкм, губительные для живых организмов, поглощаются озоновым слоем атмосферы и до поверхности Земли не доходят.

От Солнца к Земле идет также *корпускулярное излучение*. Оно состоит в основном из протонов (ядер водорода), движущихся со скоростью 300-1500 км/с. Это излучение практически полностью улавливается магнитосферой Земли. Она задерживает также частицы высоких энергий, приходящие из космического пространства.

Для жизнедеятельности организмов наиболее важное значение имеет *фотосинтетически активная радиация* (ФАР). Это область спектра солнечных лучей, примерно соответствующая интервалу длин волн 0,38-0,71 мкм (иногда принимают интервал 0,40-0,70 мкм), активно используется растениями в процессе фотосинтеза. Она почти совпадает с видимой частью спектра и иногда именуется *физиологической радиацией*. Прямая радиация Солнца в зависимости от его высоты над горизонтом содержит 28-43% ФАР, рассеяная радиация — от 50-60% (при облачном небе) до 90% ФАР (при безоблачном небе, в основном за счет синей компоненты света).

Атмосфера относительно прозрачна для коротковолнового излучения, но поглощает переизлученную поверхностью Земли длинноволновую радиацию, что приводит к нагреву приземных слоев воздуха (так называемый *парниковый эффект*).

Хотя в последнее время некоторые авторы роль парникового эффекта считают преувеличенной и на первое место ставят тепловую конвенцию, которая удаляет избыток тепла в верхние слои атмосферы. Кроме того, перегрев нижних слоев тропосферы активизирует испарение воды и формирование облаков, которые в целом способствуют снижению солнечной радиации, достигающей земной поверхности.

Как уже отмечалось выше, с помощью световой энергии осуществляются окислительно-восстановительные реакции синтеза органического вещества. При этом ежегодно усваивается около 170 млрд т CO_2 и выделяется около 115 млрд т O_2 (по другим данным, эти цифры соответственно равны 200 и 145 млрд т). Общая энергия фотосинтеза равна $104 \cdot 10^{12}$ Вт.

Слой биосферы, освещаемый солнечными лучами (на поверхности суши и в гидросфере до глубины примерно 150-200 м), именуется *фотобиосферой*. Область развития жизни при нормальном освещении — *фотосфера*. Светолюбивые организмы принято называть *фотофилами*, а тенелюбивые (например, сумеречные и ночные животные) — *фотофобами*.

Потребность организмов в определенной продолжительности дня и ночи, т.е. в периодической смене освещенности и темноты, именуется *фотопериодизмом*. Регулярность и неизменность повторяемости этих периодов позволило организмам в ходе эволюции приспособить (согласовать) свои важнейшие жизненные функции с суточными параметрами освещенности (а также температуры).

Наряду с суточной существует также и сезонная ритмика. Фотопериодизм контролирует практически все метаболические процессы, связанные с ростом, развитием и размножением организмов. С наиболее активным периодом фотосинтеза связано цветение и созревание плодов растений, размножение животных (обилие пищи), фотопериодизм обуславливает такие биологические явления как перелет птиц, смена меховых покровов у млекопитающих и т.п.

По длительности светового периода, необходимого для перехода растений к цветению, выделяют *растения короткого дня, длинного дня и фотопериодически нейтральные*. У первой группы растений этот важнейший этап онтогенеза происходит при продолжительности светлого периода суток 12 часов и менее, у второй группы — более 12 часов. У третьей группы развитие генеративных органов происходит в широком интервале длительности периода освещенности. Примеры упомянутых групп растений приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Классификация растений в зависимости от фотопериодической реакции

Группа растений	Примеры
Растения короткого дня	Капуста, конопля, хизантема, амарант
Растения длинного дня	Лен, пшеница, овес, картофель, лук, морковь, шпинат
Фотопериодически нейтральные	Гречиха, виноград, одуванчик, сирень, флоксы

Растения длинного дня преимущественно происходят из северных широт, короткого — из южных. В тропическом поясе, где продолжительность дня и ночи примерно равны фотопериодичность заменяется чередованием сухого и влажного (дождевого) сезонов.

Знание закономерностей фотопериодизма создает возможность искусственного регулирования развития животных и растений (например, путем увеличения длительности светового дня в теплицах, оранжереях и парниках).

К другим экологически значимым характеристикам света относится его *энергетическая интенсивность* и *спектральный состав* (качественный состав лучистого потока).

Интенсивность света измеряется в Дж/см² в 1 мин и линейно коррелируется с фотосинтетической деятельностью (до оптимального уровня светового насыщения). Энергетическая интенсивность может быть переведена в единицы освещенности — люксы (лк).

Весьма существенны также качественные показатели света, особенно область ФАР. Зеленый лист растения в нормальном состоянии поглощает до 85% падающей на него энергии ФАР. Около 7,5% отражается поверхностью листа и столько же пропускается. Сильнее всего в области ФАР отражается и пропускается листом участок спектра, соответствующий зеленым лучам.

В диапазоне ФАР растения свет поглощают селективно. Ультрафиолетовые лучи, характеризующиеся самой высокой энергией квантов и высокой фотохимической активностью, практически полностью поглощаются первыми слоями клеток покровных тканей. Многие насекомые видят в спектре ультрафиолетового излучения, в животных организмах оно обуславливает биосинтез витамина D.

Основную часть ФАР составляет видимый свет. Под его действием сформировались в растениях светопоглощающий пигментный комплекс, а также яркая окраска цветков, привлекающая опылителей. Животные видимый свет используют для ориентации в пространстве.

Инфракрасные лучи несут основную часть тепловой энергии, которая хорошо поглощается внутриорганизменной водой. Это приводит к нагреванию всего организма, что особенно важно для холоднокровных животных (насекомых, рептилий и др.). В растениях воздействие инфракрасных лучей проявляется в осуществлении транспирации с помощью которой из листьев водяными парами отводится излишек тепла, а также создаются условия для вхождения молекул CO₂ через устьица листьев.

По данным А.А. Ничепоровича (1967), на зеленый лист падает в среднем 3024 кДж/м² солнечной энергии в час, из нее листом поглощается 1638 кДж/м² в час, в том числе 85% видимой и 25% инфракрасной части спектра (соответствующие показатели для отраженного света 10 и 45%, для пропущенного — 5 и 30%). Из поглощенной энергии на фотосинтез расходуется всего 16,8 — 33,6 кДж/м² в час, что приводит к образованию 1-2 г/м² в час ассимилятов.

В зависимости от поглощения того или иного участка спектра у животных организмов, особенно водных растений, выработались хроматические адаптации. Так, водные растения разных глубин корректируют свои оптические свойства образованием дополнительных пигментов (каротиноидов, фукоксантина — бурые водоросли; R — фикоэритрина — красные водоросли), которые расширяют и сдвигают спектральную кривую поглощения света в область зелено-голубых и синих лучей, которые лучше всего проникают сквозь толщу воды.

Количество поглощаемой солнечной энергии максимально тогда, когда солнечные лучи перпендикулярны поглощающей поверхности. Однако в течение дня Солнце постоянно меняет свое местоположение. Поэтому растения выработали специальный механизм оптимальной ориентации листьев в пространстве на основе *фототропической реакции*.

Поглощение лучевой энергии можно увеличить также путем увеличения общей поверхности фотосинтезирующих элементов, которая у растений является не чем иным как густотой облиственности и количественно выражается через *индекс листовой поверхности* (ИЛП):

$$\text{ИЛП} = \Sigma S_{\text{л}} / S_{\text{пн}},$$

где $\Sigma S_{\text{л}}$ — суммарная площадь всех листьев;

$S_{\text{пн}}$ — площадь поверхности почвы, занятой растением (проекцией его кроны на поверхность почвы).

По данным И.П. Культиасова (1982), в буковом лесу ИЛП составляет 7-8, в сосновом — от 7 до 10, в еловом — 11-12. Для сельскохозяйств оптимальное значение ИЛП — 4-6 (40-60 тыс. м² на 1 га посева). При столь высоких значениях ИЛП расположение листьев подвержено определенной высотной закономерности: верхние листья расположены почти вертикально, средние — наклонно, а нижние — горизонтально или почти горизонтально.

По отношению потребности к свету растения обычно делят на три группы: *светлюбивые* (или *гелиофиты*), *теневыносливые* и *теневые* (*оциофиты*). Кроме этих групп, еще различают *гелиофобы* — организмы, избегающие света.

Гелиофиты совсем не переносят или переносят очень плохо даже незначительное затемнение. К числу гелиофитов относятся степные и луговые злаки, растения тундр, ранневесенние эфемеры, большинство культурных растений открытого грунта и др.

Теневыносливые растения могут существовать и в условиях разного уровня затемнения за счет таких приспособительных свойств как увеличение ассимилирующей поверхности, образование листовой мозаики, снижение интенсивности дыхания и т.п. Это в основном деревья, кустарники и травянистые растения лесной зоны, например, ель (род *Picea*), клен широколистный (*Acer platanoides*), бук (*Fagus sylvatica*), бузина (*Sambucus niyra*), герань полевая (*Geranium pratense*) и др.

Теневые растения произрастают только в затененных местах и на открытых местах обычно высыхают. Характерные представители — барвинок малый (*Vinca minor*) и чистотел (*Chelidonium majus*).

Для отнесения растений к какой-либо световой группе используют критерий *относительного светового довольствия* (ОСД), пред-

ложенный еще в 1907 году английским ботаником Ю. Визнером. ОСД выражается в виде минимальной освещенности в местообитании данного растения (ниже этой освещенности оно погибнет) к суммарной освещенности на открытом месте. Например, ОВД лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) равен 1/5, а бука европейского (*Fagus silvatica*) — 1/60.

По отношению к световому фактору животные делятся на *дневных*, *сумеречных* и *ночных* в зависимости от периода их наибольшей активности. Сумеречные и ночные животные являются *фотофобами*, т.е. тенелюбивыми организмами, не выносящими яркого освещения. Известны также виды, живущие в полной темноте (*гелиофобы*). К ним относятся обитатели литобиосферы (подземной биосферы), абиссали, пищер, внутренние паразиты животных.

Сезонная изменчивость животных оказывает влияние на их географическое распространение, размножение, миграцию и другие особенности поведения, а также некоторые морфологические и физиологические признаки (гипертрофия глаз, окраска, способность воспринимать поляризованный свет и т.п.).

2.6.3 Влага (вода)

Вода — необходимое условие существования организмов. Жизнь зародилась в воде и для многих организмов до сих пор остается средой обитания. Наконец, вода является основным молекулярным компонентом живых организмов, начиная с уровня клетки.

Общая характеристика свойств воды и гидросферы в целом дана в следующем разделе. Здесь же подробнее остановимся лишь на некоторых биологически и экологически значимых свойствах воды.

Главным среди этих свойств является высокая *растворяющая способность* воды, поэтому основные биохимические реакции протекают именно в водной среде. С водой получают питательные вещества растения. Водные растворы — основное транспортное средство питательных веществ и продуктов метаболизма внутри организмов.

Высокая *теплопроводность* и наивысшая среди жидких и твердых тел *теплоемкость* воды играют определяющую роль в теплообмене организмов со средой в поддержании их теплового равновесия.

Особенно ощутимо влияние этих свойств на климатические условия как комплексный экологический фактор. Через свойство теплоемкости аккумулируется и перераспределяется солнечная радиация на земном шаре. Наряду с теплоемкостью экологически важным свойством является *скрытая теплота испарения*. Для воды она

равна 2263,8 Дж/г при 100°C. Аномально высокое количественное значение этого свойства особенно важно в жарких странах и спасает водоемы и сами живые организмы от чрезмерного испарения и иссушения. При конденсации водяного пара эта теплота выделяется в окружающую среду, повышая ее температуру. Вода способна испаряться и в замерзшем состоянии, что весьма важно для арктических и субарктических биотопонимов.

Высокая *диэлектрическая проницаемость* воды обеспечивает интенсивную диссоциацию химических веществ (солей, кислот, и оснований) на ионы, что активизирует различные биохимические реакции и повышает их разнообразие, а также реализует внутренний механизм *осмотической регуляции*.

Полярность молекул воды стабилизирующе действует на другие макромолекулы и их функциональную активность (особенно в зависимости от толщины гидратной оболочки). Этим же свойством определяется, что часть адсорбированных частицами почвы воды является недоступной для растений (например, гигроскопическая вода).

Важное биологическое значение имеет высокое *поверхностное натяжение* воды, с которым связано явление *капиллярности* и *адгезии* (прилипания). Свойство поверхностного натяжения используется непосредственно многими живыми организмами для передвижения по водяной пленке (водомерки, тропические ящерицы-василиски и др.), а также прикрепления к твердым предметам и перемещения вместе с ними (многие моллюски, личинки комаров и т.п.).

Благодаря значительным силам *сцепления* между молекулами воды, возможны перемещение воды по стеблю растений, адсорбционные процессы в корневых системах, дыхательные, пищеварительные и иные процессы.

Прозрачность воды для значительного участка спектра солнечной радиации обеспечивает протекание многих важнейших жизненных процессов, прежде всего, фотосинтеза в водной среде, а также в водонасыщенных тканях растений.

Несжимаемость воды способствует сохранению формы как живых организмов в целом, так и отдельных их органов в частности. *Тургорное давление* благодаря этому обеспечивает определенное положение частей растений в пространстве (подробнее об этом ниже).

Наконец, мы должны помнить, что вода является главным поставщиком кислорода, выделяемого при фотосинтезе, и донором водорода, используемого в фотосинтетических реакциях.

Отмеченные выше свойства воды в гидрохимии рассматриваются как аномальные. В чем их причина? Большинство авторов необычность ряда свойств воды связывает с особенностями ее структу-

ры, которая обусловлена, в первую очередь, существованием в ней особого типа молекулярной связи — водородной (Ходьков, Валу-конис, 1968; Блох, 1972 и др.).

Для уточнения сказанного рассмотрим еще два свойства воды — температуру кипения и плавления, по сравнению с соединениями, аналогичными воде по положению в Периодической системе элементов (табл. 2.7).

Таблица 2.7

Температуры кипения и замерзания воды в сравнении с другими соединениями водорода, обладающими аналогичной молекулярной структурой

Соединение и молекулярный вес	Температура кипения, °С		Температура замерзания, °С	
	Прогнозная	Физическая	Прогнозная	Физическая
H ₂ O (18)	+ 68	+ 100	— 87	0
H ₂ S (34)	—	— 61	—	— 82
H ₂ Se (80)	—	— 42	—	— 64
H ₂ Te (129)	—	— 4	—	— 51

Из рассмотрения данных таблицы видно, что вода должна была бы обладать существенно более низкими температурами кипения и замерзания, чем это наблюдается в действительности.

Иными словами, аномальность свойств воды свидетельствует о том, что эти свойства не подчиняются Периодической системе элементов.

Изменение структурных особенностей воды с повышением температуры влечет изменение ряда физических и термодинамических свойств, и, следовательно, и ее устойчивости как химического соединения. По мере увеличения температуры свободная энергия образования воды уменьшается, энтропия увеличивается, т.е. вода переходит на более высокий, но менее устойчивый энергетический уровень (Шварцев, 1982).

Возможно, именно этой закономерностью обусловлено то обстоятельство, что реакции фотосинтеза требуют определенного температурного режима.

Вообще из вышеизложенного вытекает печальный вывод, что если бы свойства воды подчинялись закону периодичности и она кипела бы при температуре, которая характерна для полюсов холода Земли, вряд ли это породило бы жизнь на основе органических соединений.

Биологический влагоперенос (и теснейшим образом связанный с ним солеперенос) является основным элементом биологического круговорота воды. Он входит в климатический круговорот и принимает активное участие в почвообразовании.

Наиболее благоприятны для биологического переноса воды так называемые *автотрофные* (или *элювиальные*) почвы, формирующиеся в условиях относительно глубокого залегания подземных вод и характеризующиеся достаточно свободным газообменом с атмосферой, обеспечивающим большую интенсивность биологических процессов и активное разложение и гумификацию органического вещества.

Вода в растение поступает в результате работы двух основных «двигателей»: корневого и листового. Рассмотрим вкратце работу каждого из них.

Если срезать надземную часть растения, то из срезанной поверхности стебля начинает выделяться жидкость, именуемая *пасоккой*, — возникает явление «плача». При повышении концентрации раствора, питающего корневую систему такого растения, «плач» замедляется, следовательно, сила, которая вызывает «плач», по своей природе является осмотической. По данным разных авторов, «осмотическая сила корневого сосания» не превышает 0,1-0,2 МПа. Осмотическая сила расходуется главным образом при переходе через тонкий (до 1 мм толщины) слой корня — *паренхиму*. По мнению других авторов, природа поступления влаги в корневую систему имеет неосмотическую природу и связана, например, с некоторыми явлениями из области обмена веществ. Сосущая сила клеток S (или сосущее отрицательное давление) может быть выражено следующим уравнением:

$$S = P - T,$$

где P — осмотическое давление;

T — тургорное давление (давление, оказываемое на содержимое клетки ее упругой оболочкой).

Механизм работы листового «двигателя» тесно связан с процессом *транспирации* (испарения влаги растением). В клетках, теряющих влагу, развивается сосущая сила, которая при интенсивной транспирации достигает 0,5-1 МПа. Возникновению столь значительной силы способствует сопротивление корня проходящему через него току. Подъем воды на высоту, превышающую 10 м, объясняется, во-первых, огромным сопротивлением воды на разрыв (или сцеплением, о чем мы уже говорили выше), которое по данным новейших исследований может достигать 30-35 МПа, и, во-вторых, отсутствием в проводящих сосудах растений воздуха.

Растения потребляют очень большое количество воды, в сотни и тысячи раз превышающее вес сухой массы. Наиболее острыми периодами в жизни растений, когда они особенно резко реагируют на недостаточное снабжение водой, являются периоды образования репродуктивных органов.

Характеризовать почву в отношении ее способности удовлетворять потребность растений во влаге можно двумя показателями — величиной *критической влажности* и величиной «*мертвого запаса*». Критическая почвенная влажность отвечает началу завядания растений, а «мертвый запас» соответствует той влажности почвы, при которой корневая система перестает всасывать влагу и растение погибает от недостатка воды. «Мертвый запас» приблизительно соответствует максимальному содержанию в почве прочно связанной воды, которая является совершенно неусвояемой для растения из-за ее прочного удерживания почвенными частицами. В некотором интервале более высоких значений влажности трудная доступность влаги определяется малой ее подвижностью (низкой влагопроводностью почвы) и относительно крупным поперечником корневых волосков, что препятствует их проникновению в поры с усвояемой влагой (Роде, 1965).

В верхних частях литосферы (зона выветривания), как известно, преобладает нисходящая и латеральная (горизонтальная, пластовая) миграция веществ. Растения создают поток миграции, встречный по отношению к господствующему (Валуконис, Ходьков, 1973).

С биологическим переносом воды связана в первую очередь миграция элементов, входящих в состав золы растений: Ca, K, Mg, Na, Si, P, Al, Fe, S. Различные растительные сообщества ежегодно извлекают и вновь возвращают в почву вместе с опадом отмирающих наземных частей от 80 до 620 кг окисей этих элементов на 1 га площади.

Влага (вода) в соответствии с компонентной характеристикой биогеоценоза, данной в подразделе 1.3, представляет собой гидротопную составляющую экотопа и подразделяется на атмосферные осадки, влагу почвы и влагу воздуха. Правда, некоторые авторы влагу воздуха относят к климатотопу.

Более подробно водная оболочка Земли (гидросфера) и ее компонент охарактеризованы в следующем разделе. Здесь же остановимся лишь на некоторых их особенностях, имеющих эколого-биологическое значение.

При характеристике атмосферных осадков важное значение имеет соотношение их количества и величины испаряемости. Области, в которых испаряемость превышает годовую сумму осадков, называются *аридными* (сухими). Участки суши, в пределах которых имеет обратное соотношение годовой суммы осадков и испаряемости, т.е. где растения обеспечены водой в достаточной мере в течение практически всего вегетационного периода, называются *гумидными* (влажными).

По данным К.М. Сытника с соавторами (1987), в каждый момент времени атмосфера содержит около 13 миллиардов тонн влаги. Эта цифра практически постоянна, так выпадение влаги в виде атмосферных осадков постоянно восполняется испарением. Скорость круговорота влаги в атмосфере определяется огромной цифрой — около

16 миллионов тонн в секунду или 505 триллионов т в год. По данным тех же авторов, эквивалентный слой воды, равный объему содержащейся в земной атмосфере влаги, имеет мощность всего 2,5 см.

Однако на Земле в среднем за год выпадает 92 см осадков. Следовательно, за год в атмосфере влага обновляется $92:2,5 = 36$ раз. Это значит, что молекула водяного пара пребывает в атмосфере 10 дней (Чандлер, 1974).

Сочетание обеспеченности растений влагой и определенным термическим режимом реализуется при построении специальных *климадиаграмм*, на которых масштабы шкал этих факторов принято наносить в соотношении 2:1. Климадиаграммы наглядно изображают периоды засухи и избыточного увлажнения при разных типах климата и другие климатические явления. Принцип построения и примеры климадиаграмм приведены в работе А.С. Цыперовича и И.П. Галича (1976).

Вода, входящая в состав живых организмов, получила название *биосферной воды*. Живые организмы в среднем на 2/3 состоят из воды. Без этой воды их существование невозможно. количественная характеристика воды в биосфере (на примере организма человека) дана в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Вода в живом веществе тела человека

Характер вещества	% от веса тела или тканей
В тканях:	
жировых	20
костяных	25
печени	70
мышечных	75
крови	79
мозге	85
лимфы	96
Всего:	60
Белки	19
Жиры	15
Минеральные вещества	5
Углеводы	1

Общий объем воды, содержащейся в живых организмах, оценивается в 2,5 тыс. км³ (Реймерс, 1980). По другим данным, он меньше — 1,12 тыс. км³ или 0,00007% от общих мировых ресурсов воды (Соколов, 1974).

Основную часть воды сухопутные растения теряют в результате транспирации, а животные — с продуктами выделения и дыхания.

Расход влаги с 1 га растительности составляет в среднем 3-6 тыс. т. за вегетационный период. Это количество почти равно годичной сумме осадков в данной местности. Потребность некоторых культур в воде (в мм слоя воды) такова: зерновые 365-760, citrusовые и хлопок 500-600, сахарный тростник 400-950 (Рамад, 1981).

Основные количественные показатели транспирации приведены в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Показатели транспирации

Показатели	Характеристика показателей	Количественные значения
1	2	3
Интенсивность	Количество воды, отдаваемой с единицы листовой поверхности в единицу времени	15-200 г/м ² в 1 ч (днем) и 1-20 г/м ² в 1 ч (ночью)
Продуктивность	Количество созданного сухого вещества на 1 кг затраченной влаги	8-10 г (в среднем 3 г)
Коэффициент транспирации	Количество воды, затраченное на единицу сухого вещества	100-800 (в среднем 300)

Главными источниками воды для растений являются содержащаяся в почвах гравитационная и капиллярная воды. Некоторые растения (эпифиты, саксаул, кактусы, мхи, лишайники) поглощают капельножидкую воду, выпадающую в виде дождя, мельчайшие капельки тумана, а также парообразную влагу воздуха.

Животные поступление воды в организм осуществляют путем питья (птицы, млекопитающие) или всасывания воды через покровы тела (амфибии, клещи и др.). Многие животные довольствуются только той водой, которая поступает с пищей. Некоторые животные используют *метаболическую (эндогенную)* воду, которая образуется в процессе окисления запасов жира в специальном жировом теле (амбарный долгоносик, мучной червь, гусеница платяной моли и др.). У крупных животных (верблюды, сайгаки и др.) из 100 г жира образуется около 107 г метаболической воды. Для этих животных характерны различные приспособления, направленные на максимальное сохранение запасов воды (ночной образ жизни, влагонепроницаемость покровов, резко пониженное потовыделение, редкое дыхание и глубокое расположение органов дыхания, максимально обезвоженные продукты выделения и т.п.).

В зависимости от способа регулирования своего водного режима растения делятся на *пойкилогидридные* и *гомеогидридные*. Растения пер-

вой группы (наземные водоросли, грибы, лишайники, некоторые мхи и др.) не обладают способностью активно регулировать свой водный режим. Эта способность присуща только гомеогидридам, к числу которых относится основная масса ныне существующих растений. Эффективная регуляция процесса водоотдачи осуществляется при помощи устьичного аппарата, водонепроницаемостью внутренних клеток и тканей, способностью сворачивать листья и т.п.

Оригинальная классификация экологических групп растений по их отношению к воде разработана А.П. Шенниковым. Эта классификация приведена в табл. 2.10 (по И.М. Культиасову, 1982, с изменениями).

Таблица 2.10

Экологическая классификация растений по их отношению к водному фактору

Группа	Подгруппа	Краткая характеристика	Примеры
1. Гидрофиты		Наличие особой воздушной ткани — <i>аэренхимы</i> , обеспечивающей плавучесть органов	
	1.1. Плавающие на поверхности	Контактируют с двумя средами — водой и воздухом	Ряска (<i>Lemna sp.</i>), многокоренник (<i>Spirodela sp.</i>)
	1.2. Погруженные — подвешенные	Взвешенные в воде, контактируют только с одной средой (водой)	Пузырчатка (<i>Urticularia.</i>), роголистник (<i>Ceratophyllum</i>)
	1.3. Погруженные укореняющиеся	Находятся в двух средах — воде и почве	Элодея (<i>Elodea canadensis</i>), валлиснерия (<i>Vallicneria spiralis</i>)
	1.4. Плавающие на поверхности укореняющиеся	Контактируют с тремя средами -- водой, почвой и воздухом	Кувшинка (<i>Nymphaea</i>), виктория (<i>Victoria regia</i>)
	1.5. Амфибийные виды	Занимают береговые и прибрежные мелководья	Стрелолист (<i>Sagittaria saggitifolia</i>), рис (<i>Oryza sativa</i>)
2. Гигрофиты		Сухопутные растения областей достаточного водоснабжения и высокой влажности воздуха, плохо переносят даже кратковременное увядание	Папирус (<i>Cyperus papyrus</i>), пальма болотная (<i>Phoenix paludosa</i>)
3. Ксерофиты		Выносят временное увядание с потерей до 50% влаги или способны жить в аридной местности	Саксаул (<i>Haloxylon ammodendron</i>), верблюжья колючка
4. Мезофиты		Подробная характеристика дана ниже	
5. Эфемеры			

Т.К. Горышина (1979) по характеру преодоления условий засушливых мест среди ксерофитов выделяет три подгруппы: *эуксерофиты*, *гемиксерофиты* и *пойкилоксерофиты*.

Растения первой подгруппы характеризуются пониженной транспирацией, особенно в часы наибольшей сухости воздуха. Примеры: полынь голубая (*Artemisia glauca*), вероника опушенная (*Veronica incana*).

Растения второй группы имеют мощную корневую систему, обеспечивающую бесперебойное водоснабжение. Примеры: шалфей (*Salvia pratensis*), резак (*Falcaria vulgaris*).

Растения третьей группы не могут регулировать свой водный режим; в сухую и жаркую погоду они высыхают до воздушно-сухого состояния, однако после дождя оживают. К этой группе относятся лишайники, древесные грибы, степные мхи и водоросли, из цветковых — рамондия сербская (*Ramondia serbica*), геберлея родопская (*Heberlea rhodopensis*).

Особую группу ксерофитов составляют *суккуленты* — растения с очень мясистыми листьями или стеблями, в которых запасается влага. Это различные кактусовые, агавы, алоэ.

Такие же особые подгруппы составляют растения, приспособленные к недостатку как влаги, так и минеральных веществ в условиях низких температур. Это так называемые *ксероморфные олиготрофы*, подразделяемые на *психрофиты* и *криофиты*. Психрофиты — хладостойкие растения влажных почв. Это северные хвойные, вечнозеленые кустарники и кустарники лесотундры и др. Примеры: сосна сибирская (*Pinus sibirica*), кедровый стланник (*Pinus pumila*), ива карликовая (*Salix arctica*), клюква (*Oxycoccus*) и др. Кριοфиты — хладостойкие растения сухих местообитаний. Обычно имеют подушковидную форму. Примеры: акантолимон (*Acantholimon*), терескен (*Eurotia ceratioides*).

Промежуточное положение между гигрофитами и ксерофитами занимают мезофиты. Это наиболее обширная по видовому составу экологическая группа растений, приуроченная в основном к умеренно влажным местообитаниям. К этой группе относится большинство листопадных деревьев и кустарников, луговых и лесных трав, основные сельскохозяйственные культуры.

Первую подгруппу мезофитов составляют вечнозеленые мезофиты тропических лесов. Примеры: монстера (*Monstera deliciosa*), фикус (*Ficus elastica*). Вторая подгруппа — зимнезеленые древесные мезофиты. Это в основном растения саванн, например баобаб (*Adansonia digitata*). Третья подгруппа — летнезеленые древесные мезофиты. Примеры: дуб (*Quercus sp.*), береза (*Betula sp.*). Четвертая подгруппа — летнезеленые травянистые мезофиты (многолетние). Примеры: клевер луговой (*Trifolium pratense*), лютик едкий (*Ranunculus acer*).

Своеобразную группу растений составляют *эфемеры* и *эфемероиды*. Эфемеры — однолетние травянистые растения с коротким, как правило, весенним жизненным циклом. Характерны для степей, полупустынь и пустынь. Эфемероиды, в отличие от эфемеров, являются многолетними травянистыми растениями. Примеры эфемеров: мак (*Papaver pinnatum*), крупка весенняя (*Draba verna*). Примеры эфемероидов: тюльпан (*Tulipa*), осока (*Carex*), герань клубненосная (*Geranium tuberosum*).

Несколько по-особому по отношению к влажности среды классифицируются микроорганизмы (бактерии). Рост бактерий — *ксерофилов* начинается при влажности 85-90%, *мезофилов* — при влажности 90-95% и *гигрофилов* — при влажности свыше 95%. В.С. Самарина (1977) указывает, что поскольку в горных породах, даже в зоне аэрации, где присутствует только гигроскопическая и пленочная вода, влажность воздуха, заполняющего поры, всегда практически близка к 100%, то можно утверждать, что условия естественной влажности горных пород в большинстве случаев благоприятны для повсеместного развития микроорганизмов.

Питание корневой системы растений водой с растворенными в ней органическими и неорганическими веществами осуществляется за счет *грунтовых вод* — первого от земной поверхности выдержанного водоносного горизонта. Считается, что оптимальным, т.е. обеспечивающим бесперебойное снабжение влагой растений, является такой уровень грунтовых вод, при котором верхняя граница так называемой *капиллярной каймы* от грунтовых вод достигает поверхности почвы или не опускается ниже слоя, в котором расположена основная масса корней.

Верхняя граница капиллярной каймы соответствует скачкообразному уменьшению влажности на определенном расстоянии от уровня грунтовых вод. Капиллярное поднятие от *зеркала* (подземной поверхности) грунтовых вод в песчаных почвах составляет 0,5-0,9 м, в супесчаных — 1,0-1,2 м, на суглинках — 1,5-2,0 м и в торфяных почвах — 0,5-1,5 м (в зависимости от степени разложения, ботанического состава и др. особенностей торфа).

Благоприятным для растений является постоянный оптимальный уровень грунтовых вод. В этом случае растения бесперебойно снабжаются влагой и их продуктивность практически не зависит от количества и распределения осадков в течение сезона вегетации. Оптимальные постоянные уровни грунтовых вод обеспечивают наивысшую продуктивность всех мезофильных видов растений (т.е. растений с умеренными требованиями к увлажнению почвы).

В естественных условиях постоянство уровня грунтовых вод, как правило, не наблюдается. Обычно в годовом ходе уровня грунтовых вод отмечаются периоды весеннего подъема и летнего спада. Коле-

бания уровня грунтовых вод оказывают отрицательное влияние на рост и продуктивность растений. Снижение уровня воды ниже оптимального приводит к соответствующему углублению верхней границы капиллярной каймы и отрыву ее от верхнего корнеобитаемого слоя почвы.

Следует отметить, что сама капиллярная кайма может быть подразделена на три части. В нижней ее части водой заполнены все почвенные поры, в средней — мелкие и средние, а в верхней только мелкие. Таким образом, именно в верхней части создаются оптимальные условия водно-воздушного питания растений, т.е. при достаточном водоснабжении сохраняется достаточная *аэрация* (доступ воздуха для дыхания корней).

Кроме периодов отрыва капиллярной каймы от слоя почвы, где располагаются корни, неблагоприятными являются периоды затопления корневых систем. Затопление корней в середине вегетации уже в течение 5-7 дней приводит к гибели многие мезофильные сельскохозяйственные и древесные растения.

Эти особенности водного режима необходимо учитывать при планировании как оросительных, так и осушительных мелиораций.

Эффект колебания уровней грунтовых вод неоднозначен для различных сельскохозяйственных культур и обусловлен их биологическими особенностями. Так, одни растения (кормовые травы, овес) способны без ощутимого снижения продуктивности переносить определенное время некоторый недостаток кислорода при более высоком уровне грунтовых вод; другие (ячмень, пшеница, кукуруза) без заметного ущерба переносят некоторый недостаток влаги в почве. Для условий Украины и Белоруссии установлено, что в общем случае в сухие годы при снижении уровня грунтовых вод на 0,5-1,0 м урожай сельскохозяйственных культур снижается на 48-50% и более на песчаных почвах и на 10-30% на супесях и суглинках по сравнению с нормальными по увлажнению годами (при одинаковом уровне агротехники и удобрения почвы). При этом следует иметь в виду, что эффективность удобрения почвы при недостатке влаги незначительна, поскольку растения потребляют питательные вещества только из почвенных растворов.

Особенно чувствительна к понижению уровней грунтовых вод луговая растительность. Во всех случаях снижение уровня грунтовых вод, высоты и продолжительности затопления, вызывает деградацию лугов, так как луговая растительность приспособлена к высокой влажности почв. Уменьшение высоты и продолжительности затопления приводит к падению продуктивности заливных лугов, которые, например, до осушения поймы или спрямления русла реки

заливались весенними талыми водами, приносившими большое количество мельчайших почвенных частиц в виде ила. Особенно быстро деградация гумусов происходит на песчаных и торфяных почвах; на суглинистых почвах вследствие их большей способности удерживать влагу обильные осадки могут замедлить процесс деградации.

Древесные растения обладают большей устойчивостью к изменению гидрологического режима: так как их мощная и хорошо развитая корневая система способна в большей степени использовать влагу выпадающих атмосферных осадков, а ствол — накапливать воду в благоприятные периоды года. Поэтому древесные растения переносят засушливые периоды или снижения уровня воды с минимальными потерями прироста.

Фактор влажности весьма важен не только для растений, но и для животных, причем способы регуляции водного баланса у последних более разнообразные и подразделяются на поведенческие, морфологические и физиологические. Наиболее характерным поведенческим приспособлением является способность поиска водоемов и наиболее благоприятных мест обитания. Морфологические приспособления выражены в виде морфоструктурных образований, направленных на удержание воды (раковины моллюсков, ороговение кожных покровов рептилий и т.п.). Физиологические приспособления в основном направлены на экономию воды и оптимизацию водообмена (о чем уже говорилось выше). В целом многие организмы (как сухопутные животные, так и наземные растения) избегают местообитаний с недостатком влаги.

2.5.4. Воздух (атмосфера)

Атмосфера, особенно в пределах ее нижней части — тропосферы — является компонентом климата. Однако воздух (водорастворенный) входит также в состав гидротопы, а почвенный и подпочвенный воздух — в состав эдафотопы. Атмосфера является средой распространения, обитания и жизнедеятельности многих живых организмов (микроорганизмов, пыльцы растений и их семян, насекомых, птиц, некоторых млекопитающих).

Сама атмосфера в значительной мере сформирована живым веществом биосферы. Так, полное обновление кислорода атмосферы Земли за счет жизнедеятельности организмов происходит в среднем за 5500 лет.

С экологической точки зрения наиболее важным является слой воздуха высотой 50-100 м; (иногда до 150 м и больше) от поверхности Земли, именуемый *приземным*. Именно в этом слое наиболее резко изменяются метеорологические факторы.

Наземно-воздушная среда организмами была освоена значительно позже, чем водная. Плотность атмосферы существенно ниже по сравнению с гидросферой. Именно с этим обстоятельством связывается тот факт, что наземные животные, даже самые крупные, существенно меньше чем такие морские гиганты, как китообразные.

Это же обстоятельство определяет большую подвижность воздушных масс по сравнению с водными, что создает благоприятные условия для пассивного перемещения аэропланктона, под которым понимаются организмы, парящие (подвешенные) в воздухе (споры, семена, мелкие насекомые, пауки и т.п.). Движение атмосферы способствует перераспределению на поверхности и близ поверхности Земли тепла, влаги, опылению растений, формированию их внешнего облика (формирование низкорослых разновидностей, стлаников, отмирание ветвей на наветренной стороне, упрочнение корневой системы и т.п.).

Отрицательное влияние сильных ветров проявляется в уничтожении всходов растений поднятыми в воздух песчинками, в иссечении вегетативных органов снежинками (что приводит к формированию так называемых «столовых» форм кроны), выдуванию (*дефляции*) почв и обнажению корневой системы растений.

В свою очередь, растения влияют на движение воздуха, снижая его скорость. Это свойство растений используется для защиты полей и других сельскохозяйственных угодий от ветровой эрозии почв.

Движение воздуха является активным фактором естественного отбора. В местообитаниях с постоянно дующими ветрами сохраняются организмы с хорошими летными качествами либо их крылья редуцируются. Ветры определяют также направление миграции таких насекомых как комары, москиты и саранча (Израэль, 1984).

Важное экологическое значение имеет изменение плотности и давления воздуха с высотой. Менее плотный воздух высокогорий более чист, так как содержит меньше взвешенных частиц. Он более прозрачен для коротковолновой части спектра.

По данным К.М. Сытника с соавторами (1987), величина атмосферного давления, соответствующая высоте 7,5-8,0 км над уровнем океана является критической для абсолютного большинства организмов. Более зависимы от плотности и давления атмосферы птицы и летающие насекомые. Для большинства из них оптимальны высоты до 1000 м, хотя некоторые из них (орлы, кондоры) могут постоянно жить и на высотах 4,0-5,0 км.

Одним из важных экологических показателей является ионизация атмосферного воздуха, вызываемая в естественных условиях ультрафиолетовым и жестким электромагнитным излучением Солнца, галактическими космическими лучами и некоторыми другими

причинами. Ионизация воздуха влияет на ионный и газовый обмен в организмах, выделение экзометаболитов и другие процессы. Некоторые живые организмы (птицы, насекомые) изменение ионизации воздуха воспринимают как предвестник изменения погодной ситуации.

Исключительно огромна роль атмосферы в фотосинтезе и геохимическом балансе углерода и кислорода.

По определению Г.Е. Вейткевича и В.В. Закругкина (1976), фотосинтез зеленых растений представляет собой мощный космический процесс, вовлекающий в годовой круговорот огромные массы вещества Земли и определяющий высокий кислородный потенциал ее атмосферы и биосферы в целом.

По данным этих же авторов, ежегодно всем живым веществом биосферы усваивается 10^{11} т углерода; это неизбежно ведет за собой использование $3,65 \cdot 10^{11}$ т углекислоты и $1,5 \cdot 10^{11}$ т воды. В общей сложности растения в процессе фотосинтеза ежегодно потребляют около $5 \cdot 10^{11}$ т H_2O и CO_2 , что на два порядка превышает массу ионного стока в океан в течение аналогичного периода.

Зная, что в верхних горизонтах Земли содержится $1420 \cdot 10^{15}$ т воды (в океане), $233 \cdot 10^{10}$ т CO_2 (в атмосфере), нетрудно подсчитать, что в течение 9 миллионов лет фотосинтез перерабатывает массу воды, практически равную всей гидросфере Земли, в течение 6-7 лет поглощается углекислота, содержащаяся в атмосфере, и в течение 400 лет вся углекислота, содержащаяся в атмосфере и гидросфере. Если учесть, что биосфера существует не менее 3,6-3,7 млрд лет, то можно подсчитать, что вся вода Мирового океана не менее 400 раз прошла через биогенный цикл, а свободный кислород атмосферы обновлялся не менее 800 тысяч раз.

Более подробно атмосфера, как абиогенный фактор природной среды, рассматривается в следующем разделе.

2.6.5. Почвы

Почвы представляют собой особое природное образование, возникшее в результате воздействия живых организмов и минерализованного органического вещества на породный субстрат. Они составляют основную часть эдафотопы (эдатопа). Почвы формируются на поверхности *коры выветривания* горных пород различного происхождения.

В биогеоценозах почвы наиболее прочно связаны с климатотопом, фитоценозом и микроценозом. В связи с зональностью климата и растительности на земном шаре почвы также подчиняются закону зональности.

С точки зрения биологии и экологии почва является домом для организмов, который строят сами организмы. Вне организмов почва образоваться и активно существовать не может.

Однако почва является не только наиболее благоприятной средой и субстратом для развития многих организмов. Почвенный покров является также биологическим абсорбентом и нейтрализатором загрязнений. Обитающие в почве микроорганизмы играют важнейшую роль в минерализации остатков органического вещества, поддержания самоочищающей способности биосферы, обеспечения круговорота веществ и потока энергии в природе (Сытник и др., 1987).

Формирование почвенного слоя в геологическом прошлом началось в прибрежных частях океанов и морей с появлением первых простейших земноводных растений — псилофитов. В кембрийском периоде это были полупогруженные в воду растения и при *регрессии* (отступлении) моря они погибли.

Массовый выход псилофитов из морских вод на сушу осуществился только в среднем девоне. Следы этой миграции мы обнаруживаем, например, в Кузнцкой котловине в виде слабо гумифицированных бурых углей, получивших название *барзасской рогожки*.

К тому времени по окраинам суши уже протекали почвообразовательные процессы. Им способствовали донный почвенный слой, оставшийся после регрессии моря, привнос с континента мелкозема, а также развитие автотрофных бактерий. В.А. Ковда (1981) высказал предположение, что автотрофные бактерии являлись предками как водорослей, так и высших растений. Выход протерозойских автотрофных бактерий на сушу осуществлялся в периоды *трансгрессии* (наступления) моря на сушу, далее вглубь континента они мигрировали по водоносным речным отложениям.

Почвообразовательные процессы резко усилились в каменноугольном периоде. По данным Л.Г. Рекшинской и А.П. Феофиловой (1974), изучавших древние почвы Донбасса, горные породы, залегающие ниже угольных пластов, существенно переработаны древними почвообразовательными процессами и представляют собой новообразованные тела, во многом сходные с современными почвами гидроморфного ряда. Установлено также, что почвы широко развиты и в безугольных интервалах.

В формировании почв и становлении их продуктивности существенную роль играют гуминовые вещества, преимущественно *гуминовые кислоты*. Они, в свою очередь представляют собой продукт жизнедеятельности организмов, перерабатывающих отмерший растительный и животный материал.

Ф.Я. Сапрыкин (1984) высказал предположение, что первые гуминовые кислоты на континенте появились, вероятнее всего, в

девоне, когда формировались торфяные болота из отмерших псилофитов. По его данным, в элементарном составе гуминовых кислот барзасской рогожки, состоящей из неразложившихся псилофитов, содержится: углерода 62,5%, водорода 5,3%, азота 1,38% и кислорода (по разности) 30,8%.

Гуминовые кислоты являются весьма реакционноспособными органическими соединениями, разрушающими минеральные компоненты почв и материнских пород. Опытами, проведенными В.В. Пономаревой с соавторами (1969), установлено, что по реакционной способности фульво- и гуминовые кислоты не уступают соляной, в некоторых случаях гуминовая кислота даже превосходит ее, в частности при извлечении Al_2O_3 из нефелина и мусковита.

В связи с тем, что в формировании почв принимают участие разнообразные и многочисленные группы организмов, многие косвенные факторы и субстраты различного происхождения и химического состава, почвенный биомного шара чрезвычайно разнообразны.

Условия почв и общая экологическая обстановка определяют видовой состав прорастающих на них растений.

Так, на засоленных почвах широко развита флора *галофитов*. В зависимости от морфологических особенностей и путей адаптации к засолению различают следующие группы галофитов (Горышина, 1979):

1) *галофиты кумулятивного типа (эугалофиты)*; способны накапливать в золе растений до 50% хлоридных, сульфатных и карбонатных солей; к этому типу относятся виды рода солянка (*Salsola*), солерос (*Salicornia herbacea*) и др.;

2) *галофиты секреторного типа (криногалофиты)*; обладают способностью концентрированный солевой раствор выделять наружу; это виды рода франкенция (*Frankenia*), тамарикс (*Tamarix*), кермек (*Statice*) и др.;

3) *галофиты регуляторного типа (гликогалофиты)*; осмотический потенциал клеток поддерживается не солями, а органическими соединениями, особенно сахарами, кроме того, гликогалофиты (биохимически ограничивают поступление солей в клетки или связывают их и выводят из основного метаболизма, это виды рода полынь (*Artemisia*), лох (*Eleagnus*), лебеда (*Chenopodium*) и др.

В качестве самостоятельной группы галофитов могут быть выделены *мангровые растения (мангры)* — периодически затопляемые леса тропических побережий в зоне морских приливов или в эстуариях рек. Их адаптация к солевому фактору осуществляется благодаря избирательному поглощению менее токсичных ионов (калия, сульфата) и удалению избытка солей через особые устьица (по типу криногалофитов).

Способность поддерживать внутреннюю среду в состоянии химического гомеостаза свойственна и другим организмам. Особенно это важно для мигрирующих рыб (лосось, осетр, кета, горбуша, угорь), которые периодически переходят из морской соленой воды в пресную речную или наоборот.

Кроме засоленности почв немаловажное значение для жизнедеятельности организмов имеет реакция почвенного раствора. Многие растения существуют в нейтральных условиях. Это представители родов клевер (*Trifolium*), люцерна (*Medicago*), тимофеевка (*Phleum*) и др. Кислые почвы предпочитают фиалка трехцветная (*Viola tricolor*), вереск (*Calluna vulgaris*), виды родов хвощ (*Equisetum*) и др.

С особым песчаным и каменистым субстратами связано произрастание двух особых групп растений — *псиммофитов* и *литофитов*.

Псиммиты — растения сыпучих песков. Они характеризуются способностью образовывать придаточные корни на любой высоте, наличием защитных футляров на корневой системе (как адаптация к возможному их обнажению при выдувании песка), редукцией листьев (*афильность*), суккулентностью и др. признаками. Примеры: аристида (*Aristida karelinii*), овсяница Беккера (*Festuca beckeri*), ива-шелюга (*Salix acutifolia*) и др.

Литофиты — растения, приспособленные к жизни на скальных или каменистых субстратах. Их еще называют *петрофитами* или *хасмофитами*. Примеры: водоросли, лишайники, мхи, из высших растений виды родов камнеломка (*Saxifraga*), стелющийся можжевельник (*Juniperus*), сосна (*Pinus*), ревень (*Rheum*), эфедра (*Ephedra*), скальные формы дуба, бука и др.

2.6.6. Плазма (огонь)

Обычно принято считать, что вещество может находиться в трех агрегатных (фазовых) состояниях: твердом, жидком и газообразном. Не науке известны и другие агрегатные состояния, например, нейтронное, когда при гигантских давлениях электроны, соединяясь с протонами, образуют нейтроны; плотность нейтронного вещества грандиозна (до 10^6 т/см³).

Свыше 95% материи Космоса находится в плазменном состоянии, т.е. в виде газа, состоящего из электрически заряженных частиц (электронов и ионов) и удерживаемого магнитным полем. Примеры плазменного состояния на Земле: северное сияние, разряды молнии, горение свечи или костра.

Огонь — важный экологический фактор. В отличие от других зональных природных факторов (свет, температура, влажность и др.) огонь является азональным и более или менее локальным фактором.

Экологические последствия огня весьма разнообразны: при выгорании растений увеличивается освещенность земной поверхности, почва сильнее прогревается днем и охлаждается ночью, больше пересыхает и легче подвергается эрозии; ускоряется минерализация гумуса, уничтожаются подстилка в лесу и ветошь в степи, что ведет к исчезновению обитающей в них фауны. Кроме того, продукты пиролиза, поступающие в атмосферу, изменяют ее свойства, что также может иметь экологические последствия.

Основной причиной пожаров в естественных условиях является грозная деятельность (молнии), извержения вулканов, а также самовозгорание горючих полезных ископаемых (торфа, горючих сланцев, ископаемых углей). Некоторые подземные пожары длятся много веков. Так, продолжающееся в наши дни горение каменных углей в бассейне р. Ягноб (Таджикистан) было известно еще Плинию Старшему.

По своему экологическому воздействию пожары делятся на верховые и низовые. Наиболее опасны верховые пожары, которые уничтожают все живое; после таких пожаров биотическому сообществу приходится все начинать с «нуля». Низовые пожары являются более щадящими, на природную среду действуют избирательно, способствуя развитию организмов, более устойчивых к огню. В ряде случаев такие пожары даже полезны. Во-первых, они уменьшают вероятность возникновения губительных верховых пожаров. Во-вторых, происходит удобрение почвы зольными элементами. В-третьих, устраняются конкуренты огнестойких растений, а их прогрессирующее размножение в целом повышает огнестойкость биоценозов.

Существенная роль в возникновении пожаров принадлежит антропогенному фактору. Все чаще пожары возникают в результате поджогов, неосторожного обращения с огнем, в результате техногенных катастроф и т.п. Некоторые пожары возникают при сочетании антропогенных и природных причин, например, при землетрясениях, когда происходят порывы газопроводов и электросетей, разрушение нефтехранилищ и т.п.

По имеющимся сведениям (Сытник и др., 1987) во всем мире ежегодно огонь уничтожает растительность (и, частично, животный мир) на площади около 20 млн га.

2.6.7. Химический состав и физико-химические параметры среды.

К числу важнейших экологических условий существования организмов следует отнести *химический состав среды обитания*. Это комплексный показатель, включающий содержание в среде отдельных химических элементов и их соединений, ее окислительно-восстано-

вительные условия, минерализацию подземных вод и других показатели.

Химический состав самих организмов отнюдь не случаен, он теснейшим образом связан с химическим составом среды обитания. Природа в отличие от «разумного» человека, не склонна к излишествам. Поэтому «лишних» элементов в организме нет, каждый из них выполняет определенную функцию, хотя содержание элемента и может колебаться в определенных пределах. Повышенные концентрации какого-либо элемента в растениях (в меньшей мере, в животных организмах) обычно наблюдается в тех случаях, когда этим элементом обогащены почвы, горные породы или подземные воды, питающие растения.

По отношению к химическому составу среды могут быть выделены две большие группы растений (Ивлев, 1986): 1) растения, адаптированные к изменениям концентрации химических элементов; 2) растения, не адаптированные к изменениям концентрации химических элементов. Первая группа в процессе эволюционного развития не только выживает, но и образует новые виды. Растения второй группы, как правило, вымирают. В дальнейшем растения первой группы будем именовать *адаптированными растениями*.

Адаптированные растения в ходе эволюционного развития образуют новые формы, которые называются *физиологическими формами*. Среди них особое место занимают *эндемичные виды (эндемики)*.

В широком смысле слова эндемик — это местный вид, обитающий только в данном регионе и не живущий в других. В свою очередь, *эндемизм* — распространение организмов в узко ограниченном географическом районе. Однако этот термин не следует путать с понятием *эндемия*, под которым понимается постоянное проявление какого-то заболевания в определенной местности.

Эндемичные виды могут возникать на географически резко ограниченных территориях, например, на островах. Поэтому эндемичные виды, формирование и существование которых связано именно с особенностями химического состава среды, мы предлагаем называть *геохимическими эндемическими видами (геохимическими эндемиками)*.

Очень часто под воздействием химических элементов среды в растениях наблюдается морфологическая изменчивость. В качестве примера укажем на *полиморфизм цветков*. Он проявляется, например, в рассечении лепестков и махровости цветков покрыто-семенных растений под воздействием свинца, цинка и молибдена. Ряд тяжелых металлов изменяют пигментацию листьев.

Однако известны и такие растения, которые адаптировались к довольно значительному интервалу концентраций элементов в среде,

но, тем не менее, устойчиво переносят колебания концентраций и не накапливают в органическом веществе избыточных элементов. Например, многие злаки индифферентны к изменению содержания в почве бора, никеля и кобальта, а дуб, граб, калина индифферентны к молибдену.

Большинство видов растений (и животных) в результате длительного приспособления к геохимическим условиям среды имеют весьма устойчивый средний химический состав. Так как геохимические условия местообитаний различных видов весьма отличны друг от друга, то и средний химический состав по отдельным элементам для этих видов весьма неодинаков. Например, хвощи богаты кремнием, а бобовые — кальцием; солянки, произрастающие на солонцах, содержат в 100-200 раз больше натрия, чем, например, клевер.

Организмы, избирательно накапливающие те или иные элементы, называются организмами-концентракторами (растениями-концентракторами). Организмы, которые рассеивают те или иные элементы, называют организмами-деконцентракторами. Отнесение организмов к концентракторам или деконцентракторам осуществляют с помощью формулы:

$$OC = C/C_0,$$

где OC — относительное содержание элемента в данном растении по сравнению с эталонным;

C — содержание элемента в золе изучаемого растения;

C_0 — содержание элемента в зоне эталонного растения.

А.Л. Ковалевский (1974) приводит следующую классификацию растений по величине коэффициента OC (табл. 2.11).

Таблица 2.11

Геохимическая классификация растений по величине коэффициента OC

Подгруппа	Группа	
	Концентракторы	Деконцентракторы
Слабые	2,5 - 4,0	0,4 - 0,25
Умеренные	4,0 - 25,0	0,25 - 0,04
Интенсивные	25 - 400 и более	0,04 - 0,0025

Таким образом, значения коэффициента OC в интервале 0,4-2,5 отражают фоновое (нормальное) содержание элемента.

Как уже отмечалось выше, у многих растений в процессе эволюции выработались механизмы регуляции, допускающие накопление элементов в определенных пределах. За этими пределами (как верхним, так и нижним) начинают проявляться физиологические и

морфологические изменения, а также эндемические заболевания. Предельные содержания элементов в живых организмах принято называть *пороговыми концентрациями*. (Данный термин в экологии и охране природы имеет еще одно значение: под пороговой концентрацией понимают содержание загрязнителя в воздухе, вызывающее изменения в характеристике безусловного сгибательного рефлекса у кроликов при 40 минутном воздействии).

Пороговые концентрации некоторых микроэлементов приведены в табл. 2.12.

Таблица 2.12

**Пороговые концентрации (в мг/кг сухого вещества)
микроэлементов для некоторых сельскохозяйственных культур**

Культура	Cu		Mo		B		Mn	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Злаки	0,5	10	0,1	4	—	—	4	1000
Бобовые	3	35	—	—	0,5	200	30	1000
Плодовые деревья	1,0	50	—	—	3	60	2	130
Цитрусовые	0,7	25	—	—	5	200	—	—
Капуста	—	—	0,03	16	5	100	10	750
Шпинат	—	150	0,01	25	—	—	—	—
Томат	—	—	0,1	10	—	—	5	400

Примечание. 1 — нижний предел; 2 — верхний предел.

Элементы, которые в природной среде (особенно, в водных растворах) содержатся в количествах, превышающих верхнее пороговое значение, называются *избыточными*. Если содержание элемента в среде резко понижено, такой элемент называют *дефицитным*. Химический элемент может быть дефицитным для одних растений и избыточным — для других. Добавление подвижных форм дефицитных элементов в агроценозах способствует повышению урожая сельскохозяйственных культур.

А.И. Перельман (1975) установил, что химический состав живого вещества коррелирует с химическим составом гидросферы и атмосферы лучше, чем с химическим составом литосферы. А.И. Перельман ввел также понятие *биофильности элементов*, под которым понимается отношение среднего содержания элемента в живом веществе к среднему содержанию его в литосфере. Максимальной биофильностью характеризуется углерод (7800), на втором месте — азот (160), на третьем — водород (70) и не четвертом — кислород (1,5). Затем следуют хлор (1,1), сера (1), бор (0,83) и фосфор (0,75). Минимальную биофильность имеет железо (0,0006).

Нами предложено аналогичные отношения рассчитывать относительно средних содержаний элементов в гидросфере и атмосфере. Эти отношения соответственно могут быть названы *гидробиофильностью* и *атмобιοфильностью* (ГБ и АБ). Тогда биофильность А.И. Перельмана может быть определена как *литобιοфильность* (ЛБ). Все три показателя приведены в табл. 2.13.

Таблица 2.13

Лито-, гидро- и атмобιοфильность элементов

Элемент	Кларк живых организмов мас, %	ЛБ	ГБ	АБ
O	70,0	1,5	0,82	3,03
C	18,0	7800	1125	1500
H	10,5	70	0,98	10-100
Ca	0,5	0,17	12,8	—
K	0,3	0,12	16,9	—
N	0,3	160	7500	0,032
Si	0,2	0,006	500	—
Mg	$4 \cdot 10^{-2}$	0,02	0,31	—
P	$7 \cdot 10^{-2}$	0,75	10000	—
S	$5 \cdot 10^{-2}$	1,0	0,56	—
Na	$2 \cdot 10^{-2}$	0,008	0,009	—
Cl	$2 \cdot 10^{-2}$	1,1	0,010	—
Fe	$1 \cdot 10^{-2}$	0,0006	10000	—
Al	$5 \cdot 10^{-3}$	0,002	5000	—
Ba	$3 \cdot 10^{-3}$	0,04	1500	—
Sr	$2 \cdot 10^{-3}$	0,06	25	—
B	$1 \cdot 10^{-3}$	0,83	2,5	—
Mn	$1 \cdot 10^{-3}$	0,01	5000	—
F	$5 \cdot 10^{-4}$	0,01	3,85	—

Примечание. В качестве кларковых значений живого вещества приняты сводные данные А.П. Виноградова (1954).

Из рассмотрения этой таблицы видно, что значения, Л Б, Г Б, и А Б не совпадают, а в ряде случаев — чрезвычайно контрастны. Интересно отметить, что уже упоминавшееся выше железо, характеризующееся минимальной литобιοфильностью, по отношению к гидросфере является ярко выраженным концентратором (гидробиофильность — 10000). Аналогичная, но несколько менее контрастная картина, прослеживается для алюминия, бария и марганца. Это свидетельствует о том, что биофильность элемента определяется не столько его средним содержанием в горной породе, а наличием его подвижных, растворимых в воде форм.

По отношению к питательным веществам субстрата растения делят на *олиготрофные*, *мезотрофные*, *эвтрофные* и *эвритрофные*.

Олиготрофные растения малотребовательны к плодородию субстрата, мезотрофные — умеренно требовательны. Эвтрофные растения нормально развиваются при богатстве субстрата питательными веществами (дуб, ясень, плодовые деревья и др.). Эвритрофные растения хорошо развиваются при различной плодородии субстрата (многие злаки).

Повышенная минерализация воды в целом неблагоприятна для существования и развития организмов (за исключением типично морских). Однако даже при одинаковой минерализации воды различные соли по разному влияют на живые организмы. Например, известно, что нормальная сода для растений примерно в 10 раз токсичнее, чем хлористый натрий, поэтому переход солончаковых почв в солонцы резко снижает продуктивность сельскохозяйственных культур. Известны случаи, когда при поливе хлопчатника водой с содержанием нормальной соды 1,0-1,5 г/л всходы растений полностью гибли в течение нескольких часов.

Исследованиями авторов (Валуконис, Мурадов, 1980; Мурадов, Валуконис, 1982 и др.) было показано, что в областях орошаемого земледелия при несоблюдении научно обоснованных режимов полива хлоридный и сульфатный типы засоления почв могут смениться наиболее токсичным для растений содовым типом.

Интересные данные получены Г.В. Бунаковой, Ю.К. Василенко, В.М. Дерябиной и др., изучавшими биологическое действие органических веществ минеральных вод (Коновалов, 1979). Проведенными исследованиями установлено, что наличие органических веществ гумусового и битумного характера в количестве свыше 10 мг/л у здоровых животных вызывает нарушение функций отдельных органов и систем организма (снижение секреции желчи с одновременным увеличением в ней холестерина, торможение тканевого дыхания печени, замедление всасывания глюкозы, снижение скорости эвакуации в желудочно-кишечном тракте, уменьшение мочеотделения, нарушение фильтрационной способности клубочкового аппарата почек, сдвиг реакции мочи в щелочную сторону, изменение реактивности организма в целом), а у больных животных задерживает выздоровление. Минеральные воды, содержащие менее 10 мг/л органических веществ, вредным влиянием не обладают и в ряде случаев действуют положительно. Более выраженное отрицательное действие в эксперименте получено от гумусовых соединений. Эти данные необходимо учитывать при выборе минеральных вод для лечебно-профилактического применения, особенно при постоянном использовании лечебно-столовых вод.

Существенное влияние на живые организмы оказывает такой показатель среды, как *водородный показатель* (кислотность-щелочность среды). В целом для живых организмов наиболее благоприятной является нейтральная среда с $pH = 7$.

Однако известны *растения-базофилы (базифиты)*, обитающие на щелочных почвах. К числу таких растений относится большинство степных и пустынных видов. Среди них различают *кальцефиты*, предпочитающие карбонатные и богатые известью почвы, и *галюидофиты* — растения солончаковых почв.

В противоположность базофилам *ацидофилы* способны к жизни при значительной кислотности среды. Это в основном микроорганизмы (бактерии). Высшие растения и животные повышенную кислотность переносят плохо.

В последние годы в промышленно развитых странах распространение получили так называемые кислотные дожди с pH ниже 5-5,5 (до 2,3-2,5). Они формируются из-за растворения в атмосферной влаге промышленных выбросов (SO_2 , NO , NO_2 , HCl и др.). Такие дожди (а также осадки в виде снега) подкисляют воду водоемов и почву, что приводит к гибели рыбы, других водных организмов и резкому снижению прироста лесов и их усыханию. Особенно опасно подкисление океанических мелководий, ведущее к невозможности размножения многих морских организмов и нарушению экологического равновесия в Мировом океане.

Наиболее широкий диапазон значений pH среды характерен микроорганизмам. Они обнаружены как в кислых средах с pH 2-5, так и в щелочных с pH 8-11. Однако есть бактерии, хорошо приспособленные лишь к узкому интервалу значений pH . Так, бактерии — нитрификаторы хорошо развиваются лишь в слабощелочных средах, бактерии-денитрификаторы активны только в нейтральных средах и т.п.

Микроорганизмы существуют также в очень широком интервале значений *окислительно-восстановительного потенциала* (Eh) среды. Есть формы как аэробные, т.е. живущие в присутствии свободного кислорода, так и анаэробные, живущие в условиях восстановительной среды. Однако некоторые бактерии (*факультативные* микроорганизмы) могут существовать и в окислительной, и в восстановительной обстановках. Столь универсальная приспособленность микроорганизмов к разнообразным условиям среды делает их, по выражению В.И. Вернадского, «всюдными».

С другой стороны, приспособленность многих организмов к достаточно узким интервалам параметров среды позволяет их исполь-

Растения-индикаторы глубины залегания и минерализация грунтовых вод в пустынях Южного Казахстана (Горьшина, 1979)

Глубина залегания грунтовых вод, м		Степень минерализации грунтовых вод	Растение
размах	средняя		
0,5-3	1-2	Пресные	Маслина узколистная (<i>Elaeagnus angustifolia</i>)
1-5	2-3	"-"	Ива белая (<i>Salix alba</i>)
3-8	3-4	"-"	Тополь разнолистный (<i>Populus diversifolia</i>)
3-8	1-2	Пресные	Шиповник (<i>Rosa canina</i>)
0-3	0-3	Пресные, солончатые	Камыш обыкновенный (<i>Phragmites communis</i>)
До 10	3-4	Солончатые	Верблюжья колючка (<i>Alhagi camelorum</i>)
1-4	2-3	Пресные, слабосолончатые	Чай блестящий (<i>Lasiagrostis splendens</i>)
3-5	3-5	Слабосолончатые	Чингиль серебристый (<i>Halimodendron holodendron</i>)
До 10	4-6	Слабосолонные	Тамариск (<i>Tamarix sp.</i>)
4-12	5-8	Солончатые, соленые	Саксаул черный (<i>Haloxylon aphyllum</i>)

зовать в качестве *индикаторов* этих параметров. Примеры организмов-индикаторов приведены в табл. 2.14.

Растения могут быть использованы также при поисках месторождений полезных ископаемых. Устойчивое покраснение стебля и черенка растения указывает на повышенные концентрации в почве марганца; при избытке хрома появляются формы, у которых листья желтые с зелеными прижилками; кобальт вызывает пятнистость листьев (Ивлев, 1986). Существуют растения, тяготеющие к почвам, обогащенным каким-либо элементом. Такие растения называют металлофилами или растениями-индикаторами. Так, индикатором на железо является клюзия (*Clusia rosca*), на медь — смолка (*Viscaria alpina*), некоторые виды мхов, на цинк — один из видов фиалки (*Viola calaminaria*), рута (*Ruta graveolius*), на никель — бурачок (*Alissum morale*), на кобальт — виды рода астрагия (*Astragalus*) и т.д.

При избытке или недостатке каких-либо химических элементов, особенно тяжелых металлов, в субстрате и почвах могут возникнуть эндемические заболевания (эндемии). Например, недостаток иода вызывает распространение эндемического зоба (ему подвержена более половины территории бывшего СССР). Акобальтоз отмечается в степях Бурятии, Монголии, Прикаспия. Недостаток меди уста-

новлен на торфяниках Западной Сибири (Васючанье). Избыток никеля отмечен во многих районах Урала. Для Узбекистана и Дагестана характерен избыток молибдена и т.д.

2.6.8. Космос (влияние небесных тел)

Земля является маленькой частицей огромного Космоса и, естественно, не может не испытывать его влияния, которое простирается и на каждый населяющий Землю организм.

Среди небесных тел в этом аспекте, несомненно, главенствующее место занимает Солнце. Ведь именно благодаря ему на Земле зародилась и уже несколько миллиардов лет существует жизнь.

Наиболее мощным проявлением солнечной активности являются вспышки на Солнце. За несколько минут (в редких случаях, за 1-2 часа) суммарная энергия, выделившаяся в процессе вспышки, может достигнуть величины 10^{30} - 10^{32} эрг. Основная ее доля заключена в частицах высоких энергий — электронах и ионах, движущихся со скоростями, близкими к скорости света. Процесс сопровождается также появлением мощного излучения практически во всех диапазонах спектра электромагнитных волн — от радио — до жесткого рентгеновского. Иногда в исключительно мощных вспышках наблюдается и γ — излучение. Быстрые частицы высоких энергий, ускоренные в процессе развития вспышки, вырываются за пределы солнечной атмосферы и, достигнув окрестностей Земли, вызывают разнообразные геофизические явления — полярные сияния, геомагнитные бури, различные ионосферные возмущения, помехи в радиосвязи и т.д.

Солнечные вспышки оказывают неблагоприятное влияние на живые организмы, в том числе человека, особенно больного. По этому поводу А.Л. Чижевский писал: «...бывают дни, когда для больного человека Солнце является источником смерти. В такие дни из жизнеподателя оно превращается в заклятого врага, от которого человеку никуда не скрыться, не убежать. Смертоносное влияние Солнца настаивает человека повсюду, где бы он ни находился» («Поиск», 1989, № 32, с. 6).

Существенное влияние на Землю оказывают различные мелкие космические тела типа *метеоритов* и *комет*.

Метеориты — минеральные агрегаты, залетающие на Землю из мирового пространства и подразделяемые на железные (сидериты), каменные (эвкриты) и железо-каменные (хондриты). Мелкие (метеоры) сгорают в воздухе, а более крупные достигают поверхности Земли, образуя ударные воронки в виде кратера. Кратер Метеор в штате Аризона (США) имеет диаметр 1,6 км и глубину 150 м.

Земля получает в год около 15-16 тыс. т метеорного вещества. Самые крупные из найденных метеоритов — Гоба (Африка) массой 59 т, Кейп-Йорк (Гренландия) — 33 т.

Кометы — космические тела неправильной формы, имеющие состав, близкий к составу планет-гигантов. Они движутся по сильно вытянутым орбитам, подходя близко к Солнцу и удаляясь от него за пределы орбиты Плутона. Период обращения комет вокруг Солнца измеряется иногда многими десятилетиями, например, для кометы Галлея он равен 76 годам. При отклонении комет от орбиты возможны их столкновения с планетами. Полагают, что Тунгусский метеорит, упавший в 1908 году, был небольшой кометой (массой около 5 млн т).

На земном шаре известно около сотни ударных образований, по всем данным возникшим при падении метеоритов и комет различного размера. Р. Дитц в 1960 г. назвал их «*астроблемами*» (греч. «звездная рана»). Известные *астроблемы* имеют округлую форму и диаметр до 100 и более километров (табл. 2.15).

Таблица 2.15

Размеры известных астроблем (Алдеев и др., 1979)

Диаметр, км	Количество	%, от общего количества
0,5	15	18,3
0,5 - 10	1	1,2
1,0 - 2,0	7	8,5
2,0 - 4,0	12	14,6
4,0 - 8,0	12	14,6
8,0 - 16,0	16	19,6
16,0 - 32,0	10	12,2
32,0 - 64,0	6	7,3
64,0 - 128,0	3	3,7

Однако, по данным специалистов, за последние 2 млрд лет Земля испытала около 100 тыс. соударений с метеоритами и кометами, способными при падении сформировать кратеры более 1 км в диаметре, примерно 600 соударений, следствием которых могли быть кратеры диаметром более 5 км и приблизительно 20 с еще большими (50 км и более) кратерами. Многие из них вряд ли будут распознаны, так как на Земле действуют мощные факторы *облитерации* (суммарная деятельность выветривания, атмосферы, воды, организмов и тектонических движений), уничтожающие следы геологических структур прошлого.

Падения крупных метеоритов и комет могло быть одной из причин массовых вымираний организмов.

Падение крупного метеорита сопровождалось грандиозным взрывом, в результате чего происходило кратковременное повышение температуры воздуха. Это потепление сменялось более длительным похолоданием (в течение нескольких лет) из-за значительного увеличения аэрозольного слоя в атмосфере. Такое похолодание особенно опасно для stenothermных животных. Известно, что среди современных обитателей тропиков многие из них погибают при снижении температуры среды их обитания всего на несколько градусов.

В последние годы предприняты попытки найти рассеянное метеоритное вещество в слоях, соответствующих эпохе крупных вымираний животных. Эти попытки дали весьма обещающие результаты. В частности, в слоях, относящихся к концу мелового периода (эпоха вымирания динозавров), были найдены избыточные концентрации *иридия* — элемента платиновой группы. Такие концентрации характерны для внеземных тел. Так, весовой кларк иридия в кислых магматических породах равен $6,3 \cdot 10^{-7}$ (данные А.П. Виноградова, 1962). В каменных метеоритах он на два порядка выше ($4,8 \cdot 10^{-5}$). В дальнейшем аналогичные аномалии были обнаружены в концентрациях многих других металлов. По этим данным был рассчитан вероятный диаметр тела, столкнувшегося с Землей. Он оказался равным 10 км (Alvarez, 1980; Newell, 1980).

А.Е. Ходьков и М.Г. Виноградова (1996) причины земных катастроф объясняют наличием связи между образованием периодов химических элементов и возникновением планет Солнечной системы. По мнению этих авторов, эволюция любой звезды, в том числе и Солнца, сопровождается взрывными вспышками, сбросом плазменной оболочки и образованием светящегося вращающегося кольца, которое может превратиться в спутник звезды. Взрывные явления на центральном светиле ведут к грандиозным преобразованиям литосферы Земли — *диастрофизмам*. Можно выделить несколько таких преобразований: на границе перми и триаса 0,22 млрд лет назад, на границе верхнего и нижнего протерозоя 1,9-2,0 млрд лет назад и на рубеже нижнего и верхнего архея $3,70 \pm 0,1$ млрд лет назад. Тектоническая перестройка коры Земли на рубеже палеозоя и мезозоя (0,22 млрд лет назад) наиболее достоверна; она отмечается, в частности, массовым катастрофическим вымиранием 90% всего живого на Земле.

Г.Ю. Валукоис и С.Ю. Приходько (1998) установили зависимость напряженного состояния массивов горных пород от гравитационного воздействия Луны. Эта зависимость имеет периодичный характер и коррелируется с изменением силы тяжести, установленным высокоточными многолетними измерениями на гравиметрической обсерватории. На основании обобщения фактического ма-

териала по катастрофическим явлениям (выбросы метана, угля и горной породы) на шахтах Донбасса методом гармонического анализа установлено, что значительная часть катастроф приходится на восходящие и нисходящие ветви кривых силы тяжести.

В учебниках и учебных пособиях по экологии влияние космической среды на живые организмы обычно не рассматривается. Кстати, общенаучные представления о Большом Космосе и Вселенной весьма редко затрагивают и учебники по другим дисциплинам (биологии, физике, химии, природоведению). Это явление подметил еще В.И. Вернадский: «С ходом научной работы после блестящих успехов описательного естествознания в XVIII-XIX вв. и проникновения точных научных методов в область наук о человеке за те же века место, занимаемое научной картиной Космоса в добытом человеком знании, непрерывно уменьшается. По существу, картина Космоса строится только небольшой — пропорционально все меньшей и меньшей частью ученых-исследователей» (1980, с. 250). И далее: «Едва ли можно сомневаться, что много более девяти десятых ученых-исследователей работают в областях знания, которые никакого отношения не имеют к той картине Космоса, которая считается результатом научной работы. Они совершенно не заинтересованы в этой картине и с ней в течение своей научной деятельности не встречаются. Ее изменения в области их знаний не сказываются. Они вполне без нее обходятся» (1980, с. 251).

Но правильно ли такое положение? На этот вопрос сам В.И. Вернадский отвечал так: «На основании всего эмпирического понимания природы необходимо допустить, что связь космического и земного всегда обоюдная и что необходимость космических сил для проявления земной жизни связана с ее тесной связью с космическими явлениями, с ее космичностью» (1978, с. 311), более того, «живое вещество находится в непрерывном химическом обмене с космической средой, его окружающей» (1980, с. 260).

В.П. Казначеев (1985) указывает, что, начиная с 20-х годов, ознаменовавшихся появлением работ А.Л. Чижевского, показавшего связь между ритмами солнечной активности и процессами, происходящими в живых организмах, особенно в наши дни ширится круг научных данных и гипотез о влиянии солнечных и иных космических излучений на земные организмы (на различных уровнях организации живой материи), в частности, накапливается значительное количество данных, свидетельствующих о том, что слабые электромагнитные взаимодействия являются важным источником обмена информацией между клетками (Казначеев, Михайлова, 1981).

Высказываются мнения о влиянии мощнейших космических взрывов на живое вещество.

Известно, что величина энергии, выделяемой при вспышке сверхновой звезды, составляет до 10^{52} эрг. Это количество значительно превышает запас тепловой энергии в недрах Солнца (10^{48} эрг.).

В.П. Казначеев, ссылаясь на биофизиков Б.М. Владимирского и Л.Д. Кисловского, пишет, что вспышки сверхновых, которые не слишком удалены от нашего Солнца, в принципе могут оказывать на биосферу Земли самое серьезное воздействие по сравнению со всеми иными ныне известными источниками космических излучений. Это воздействие могло бы приводить к резкому увеличению количества мутаций. Возможно, что существенную роль в такой ситуации может сыграть воздействие исключительно мощного потока рентгеновского излучения на атмосферу Земли. Теоретически такой рентгеновский поток может образовывать в стратосфере высокие концентрации окиси азота — вещества, разрушающего озон. При сильном повреждении озонового слоя живое вещество Земли подверглось бы резко усиливающемуся воздействию жесткого излучения Солнца, что могло бы привести к трудно предсказуемым экологическим последствиям.

Заслуживают внимания также активно разрабатываемые гипотезы о существовании по меньшей мере в нашей Галактике Млечного пути всепроникающей общегалактической живой системы. Одна из таких гипотез разработана астрофизиками Ч. Викрамасингхом и Ф. Хойлом (Викрамасингх, 1982). Сущность этой гипотезы состоит в следующем.

Ее авторы указывают на наличие в веществе звездной пыли органических полимеров или длинных цепочек органических молекул. Эти и другие данные, по их мнению, свидетельствуют о присутствии в космическом пространстве нашей галактики огромного количества микроорганизмов — порядка 10^{52} отдельных клеток. Возможно, что космическое живое вещество находится во взаимодействии с живым веществом на планетах, начиная со времени его появления по настоящее время. Некоторые важные для эволюции виды мутации, паталогические процессы в живых организмах с этой точки зрения могут оказаться своеобразным «зеркалом», отражающим взаимодействие живого вещества и Космоса.

2.6.9. Пространство и время

В завершение данного подраздела рассмотрим еще два фактора — пространство и время. Отнюдь не потому, что они — второстепенные, но в нашем сознании они воспринимаются как сами собой разумеющиеся, поэтому сплошь и рядом недооцениваются. На самом же деле и пространство, и время — это своего рода «факторы

факторов», так как вне пространства и времени не могут существовать ни организмы, ни абиотическая среда.

Влияние пространственного фактора проявляется, прежде всего, в том, что любой природный объект, в том числе и объекты живой природы имеют свое пространство существования. Каждый организм, каждая популяция, каждая экосистема имеют свой объем. Взаимодействие этих объемов проявляется в форме *пространственных биотических отношений*, которые могут быть либо нейтральными, либо активными. В качестве примера нейтральных отношений сошлемся на популяцию какого-либо вида рыб, которая в пространственном отношении не конкурирует, например, с популяцией какого-либо вида травоядных животных. Однако в большинстве случаев мы наблюдаем активные пространственные биотические отношения, когда один вид стремится вытеснить другой вид и занять его пространство существования. С другой стороны, отчужденные части пространства существования является мощным стимулом для эволюционирования «ущемленного» вида; «отвоевать» потерянное и даже расширить свои владения он может только при условии появления более совершенных и жизнеспособных форм.

Влияние пространственного фактора проявляется на всех стадиях развития и эволюции организмов.

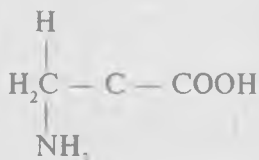
Хорошо известно, что вся наследственная информация эукариот хранится в специальных ядерных структурах клеток, называемых хромосомами. Возникает вопрос, каким образом в объектах размером в несколько микрометров укладываются десятки метров гигантских молекул ДНК? (Человек в этом отношении не самый выдающийся — длина ДНК в каждой его клетке около двух метров). К тому же способ упаковки ДНК должен быть таков, чтобы гены работали нормально, а, следовательно, нормально функционировала и клетка. К другим функциям упаковки относится охранная (минимизация нежелательных внешних воздействий) и копирующая (генетический материал должен быть пополам распределен между дочерними клетками).

Эволюционно возникло несколько способов оптимальной упаковки ДНК. Наиболее распространенными среди них являются образование спиралей, петель и ветвление (хромосомы типа ламповых щеток). При этом все эти способы реализуются на уровне, по крайней мере, пяти иерархических структур, которые по степени возрастания их пространственного масштаба и сложности могут быть расположены в следующий ряд: нуклеосома — фибрилла — хромер — хромонема — хроматида (Груздев, 1979).

В связи с вышеизложенным представляется целесообразным рассмотреть киральную чистоту белков и других органических веществ как функцию оптимальной упаковки молекул ДНК.

В подразделе 2.5 мы уже отмечали, что белки построены только из «левых» аминокислот, а нуклеиновые кислоты — из «правых» сахаров.

В качестве одной из простейших аминокислот рассмотрим α — аланин или α — аминопропионовую кислоту

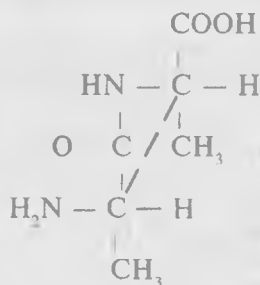


Эта аминокислота относится к L — ряду, хотя и вращает плоскость поляризации вправо. Синтетический α - аланин оптически не активен.

Посредством пептидной связи (группы $-\text{C} - \text{N}-$) аминокис-

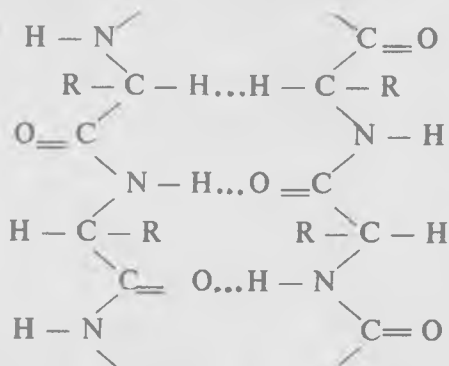


лоты могут соединяться друг с другом, образуя ди-, три- и полипептиды. Так, дипептид природного α — аланина имеет вид:



Уже из этой формулы видно, что линия, проведенная через ассиметричные атомы углерода (показана пунктиром), отклоняется от вертикальной линии. В других аминокислотах метильная группа ($-\text{CH}_3$) может быть представлена более сложным радикалом R, поэтому каждая вновь присоединяющаяся аминокислота испытывает также осевой поворот — в итоге получается объемная спираль.

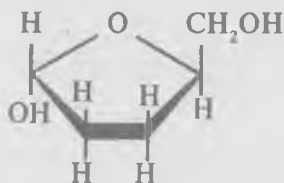
Благодаря тому, что атомы (ионы) водорода в проекционной формуле закономерно размещены справа от ассиметричного атома углерода, цепочка полипептида при поворотах имеет возможность удваиваться, сокращаясь в длине в два раза путём образования малопрочных, но многочисленных водородных связей. Схематически «сдвоенный» полипептид имеет вид:



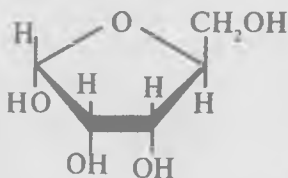
В сахарах, которые относятся к D-ряду, спиралеобразование приводит к образованию циклических *таутомерных форм* (замыканию спиралей в кольца).

Английский ученый Хеуорзе предложил изображать формулы сахаров таким образом, чтобы было отчетливо видно кольцо и расположение атомов водорода и гидроксильных групп по отношению к плоскости кольца.

Так, молекула *дезоксирибозы*, которая в качестве углеводного компонента входит в состав дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), имеет вид:



Молекулы рибонуклеиновых кислот (РНК), являющиеся переносчиками информации о структуре синтезируемого белка из ядра клетки (от ДНК) и его «строителями», содержат другой моносахарид — *рибозу*.



Как видим, рибоза дополнительно содержит гидроксильную группу OH (вместо атома водорода), однако пространственное по-

ложение других групп ОН остаётся таким же, как и в дезоксирибозе. Именно такая пространственная упорядоченность атомов в молекулах, вероятно, и обеспечивает точность передачи генной информации из ядра в цитоплазму и получение заданной «копии» белка.

Таким образом, можно предположить, что «левые» и «правые» молекулы для живых клеток необходимы также функционально.

В.И. Гольданский с соавторами (1986) обратил внимание ещё на одну особенность киральной чистоты в биогенезе — её информационную сущность. Оказывается, в кирально-грязной среде рано или поздно будет утрачена любая информация, записанная природой на полинуклеотидной цепочке. Кирально грязные полинуклеотиды не могут сохранить свойства *комплементарности* (точного соответствия двух цепочек ДНК), и также «грязные» цепочки не могут точно *реплицироваться* (воспроизводиться).

В предыдущем подразделе мы уже отмечали, что на определенной стадии эволюции автокаталитической системы «белок-нуклеиновая кислота» возникает необходимость воспроизводства определенного количества точных «потомков». В свете процитированной выше работы такой способностью в значительно большей степени обладают кирально чистые вещества по сравнению с кирально грязными. По этой причине последние неизбежно должны были исчезнуть, точнее, перестать эволюционировать дальше, как неспособные к точному копированию. Таким образом, и с информационных позиций нет необходимости для объяснения киральной чистоты привлекать какие-то «катастрофы» и «флуктуации». Кирально-грязная ветвь эволюции оказалась, попросту говоря, тупиковой.

Английский историк и социолог середины XIX-ого века Г.Т. Бокль как-то писал: «Во всех высших отраслях знания самую большую трудность представляет не открытие фактов, но открытие верного метода, согласно которому законы и факты могут быть установлены». Иными словами, сами по себе факты для познания мало что дают, хотя и дают много. Можно накопить множество фактов и, как в стог с сеном, затерять среди них иголку — истину.

В качестве примера сошлёмся ещё раз на энергетику живого вещества, которая более детально нами рассмотрена в подразделе 2.2. Образование живого вещества сопровождается уменьшением термодинамической и информационной энтропии (или увеличением обратной величины — негэнтропии), ростом упорядоченности, организации, сложности, разнообразия. На этом основании неоднократно делались ошибочные выводы о неприменимости второго закона термодинамики к живым организмам. Однако организм не является полностью замкнутой системой. Поэтому в соответствии именно со вторым законом термодинамики уменьшение энтропии в организме сопровождается значительным её увеличением во внешней среде.

Аналогичная ситуация складывается с зеркальной (оптической) изомерией — видом пространственной изомерии, зависящей от различного расположения в пространстве четырех различных групп вокруг асимметрического атома углерода.

Выше (подраздел 2.4) мы на примере молочной кислоты брожения показали, что она состоит из правовращающего и левовращающего изомеров. Однако молекулы этих изомеров соединены попарно, поэтому правое вращение, вызываемое молекулой одного изомера, полностью уничтожается левым вращением, вызываемым молекулой другого оптического изомера. Таким образом, оптически неактивным соединениям (рацематам) все же присуща оптическая изомерия, заключающаяся в содержании в них одинаковых количеств правого и левого антиподов.

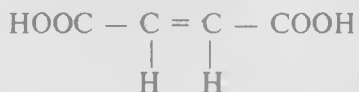
В неживой природе вообще химические реакции приводят к киральной симметрии: «левых» и «правых» молекул образуется поровну, поэтому все продукты химических реакций являются оптически неактивными соединениями.

Из вышеприведённых соображений можно сделать вывод, что киральная симметрия существует и в биологических объектах (молекулах органических соединений и комплексах этих соединений), но на более высоком организационном уровне. Так, можно считать, что левовращающие аминокислоты белков зеркально симметричны сахарам (например, Д-рибозе или Д-дезоксирибозе) нуклеиновых кислот. При этом необходимо учитывать, что белки и нуклеиновые кислоты функционально связаны: белки являются катализаторами синтеза, а нуклеиновые кислоты контролируют как сборку собственных копий, так и копий «своих» белков. Вероятно, функциональная связь существует и между другими оптическими антиподами в органических молекулах живого вещества.

Авторы считают, что с изложенных выше позиций киральную чистоту не следует воспринимать в качестве какой-то непонятной «флуктуации» или «чужачества» природы. Приуроченность Д- и L — форм к тем или иным соединениям и их группам, по нашему мнению, эволюционно определилось их пространственной и функциональной целесообразностью и обеспечило оптимальные условия укладки, например, молекул ДНК в хромосомах.

Несколько проще вопрос решается с другими формами пространственной изомерии, например с геометрической или *цис-транс-изомерией*, зависящей от различного расположения атомов по отношению к плоскости двойной связи. Здесь определяющую роль играли, по-видимому, различные физические и химические свойства изомеров-антиподов. В качестве примера сошлёмся на не-

предельную двухосновную кислоту — этилендикарбоновую общей формулы



Транс-изомером этой кислоты является *фумаровая кислота* (атомы водорода находятся по различные стороны плоскости двойной связи). Цис-изомер получил название *малеиновой кислоты* (атомы водорода находятся по одну сторону плоскости).

Фумаровая кислота содержится во многих растениях, особенно много ее в грибах. Её кристаллы плавятся при температуре примерно 288°C. Фумаровая кислота мало растворима в воде (менее 1%) и является менее слабой кислотой по сравнению с малеиновой.

Малеиновая кислота в природных условиях не найдена, а получена синтетическим путём. Её кристаллы плавятся при температуре около 150°C и хорошо растворимы в воде (50% при комнатной температуре).

Однако решающим свойством для распространения в живых организмах именно фумаровой кислоты является, по-видимому, её большая химическая устойчивость по сравнению с малеиновой. Последняя под влиянием некоторых веществ (следов иода, брома, азотистой кислоты), по свету, при нагревании переходит в фумаровую кислоту. Лабильность (нестойкость) малеиновой кислоты проявляется и в том, что она легко теряет молекулу воды и превращается в ангидрид (что подтверждает её цис-изомерный характер). К тому же она ядовита.

Таким образом, киральная чистота белков, нуклеиновых кислот и других природных органических соединений является доказательством того, что пространственная изомерия живым веществом использована в качестве средства совершенствования организации и функционирования своих структур ещё на доклеточном уровне. Об этом свидетельствуют также результаты изучения вирусов, которые состоят только из нуклеиновой кислоты и белка, т.е. лишены других атрибутов клетки (оболочки, ядра и др. составляющих).

Вирус, потеряв свой белок, может внедриться в клетку, где его нуклеиновая кислота начинает активно продуцировать «свой» белок, подавляя образование белка клетки, что приводит к заболеванию организма в целом и даже его гибели.

Явление изомерии сложных органических соединений повышает количество возможных комбинаций с их участием, которое и так измеряется астрономическими числами, и расширяет практически до бесконечности возможности разнообразия органического мира и путей его эволюции.

Вернемся к подразделу 2.2. Рацематное состояние изомеров можно рассматривать как состояние неупорядоченности. Организмы же действуют в том направлении, что хаос, беспорядок, неорганизованность уменьшаются. Следовательно, при эволюции жизни неизбежно разделение рацематов на более упорядоченные состояния — «левые» и «правые» структуры.

С пространственным фактором непосредственно связана возможность организмов перемещаться. Иногда это свойство неоправданно относят только к животным организмам. В действительности свойством перемещаться в пространстве, хотя и в ограниченных пределах, и специфических формах, обладают также растения. Ведь уже сам рост растения — это перемещение его частей в пространстве. В отдельные периоды вегетации растений особенно активны их репродуктивные органы и семена («стреляние» семенами, их разнос ветром на основе развитых специальных аэроподъемных приспособлений, пассивный перенос водными течениями орехов кокосовых пальм, на суше ветром — целых растений типа «перекати-поле» и т.п.). Многие растения обладают фототропным механизмом ориентации пространственного положения листьев в зависимости от направления солнечной радиации.

Заметим, что пространственная подвижность живого вещества проявляется уже на молекулярном уровне.

Характерным примером является гамма-аминомасляная кислота (ГАМК) — производная масляной кислоты с аминогруппой в γ — положении:



ГАМК участвует в важнейших процессах функциональной деятельности головного мозга и является *медиатором* (веществом-посредником), создавая контакты между нервными клетками и осуществляя перенос импульса как в периферической, так и в центральной нервной системе.

ГАМК имеет объемную, а не плоскую, структуру, что обеспечивает проявление *поворотной изомерии* или *конформации*. При этом под конформацией понимается такое пространственное расположение атомов в молекуле, которое возникает при вращении атомов или групп атомов вокруг любой простой связи. Для конформаций характерны предпочтительные состояния — такие, которые обладают минимальной энергией, т.е. являются наиболее устойчивыми в данных условиях.

Из квантово-химических расчетов следует, что могут существовать две предпочтительные конформации ГАМК — вытянутая, с расстоянием между заряженными центрами $\text{N}^+ - \text{O}^-$, равным $5,8 \pm 0,2 \text{ \AA}$, и свернутая, у которой расстояние между N^+ и O^- составляет $4,5 \text{ \AA}$.

В кристаллах ГАМК находится полностью в вытянутой конформации, однако в растворах её молекулы могут существовать в разных конформациях, причём в живых организмах возможен переход от вытянутой к свернутой конформации и наоборот, т.е. происходит пространственное изменение структуры молекулы. Возможно, именно с этим связано как возбуждающее, так и тормозящее действие ГАМК на разные типы нервных клеток.

С пространственным фактором непосредственно связан временной фактор, так как само пространство вне времени не существует. Влияние временного фактора на организмы и надорганизменные структуры проявляется в том, что все они имеют начало и конец, а также индивидуальный путь своего развития. Важнейшее значение при этом имеет *время существования живого объекта*, играющее существенную роль в естественном отборе. С одной стороны, чем короче это время, тем быстрее происходит смена поколений. А это, в свою очередь, обеспечивает более высокие шансы появления полезных мутаций, т.е. прогрессивного эволюционирования, а также более высокий «напор жизни» (появление за один и тот же промежуток времени большего количества потомства). С другой стороны, за короткий промежуток времени полноценное развитие сложного организма невозможно, при усложнении организма его индивидуальное развитие неизбежно удлиняется. По этой причине детеныши гоминоидов взрослеют дольше, чем детеныши многих других млекопитающих.

Итак, возникли своеобразные «ножницы»: время существования живого объекта должно быть коротким, но его эволюционное усложнение требует удлинения этого времени. Выходом из данной ситуации является в целом сокращение времени существования видов, несмотря на их усложнение (о чем мы писали выше).

Основное свойство времени — необратимость. Правда, высказываются предположения, что в микромире это свойство может быть нарушено, а в антимире (если он существует) течение времени обратно нашему. Всё же даже в последнем случае «пересечение» времени невозможно, так как столкновение частиц с античастицами приводит к их полной аннигиляции.

Следствием необратимости времени являются, по крайней мере, два закона эволюционной биологии и экологии, о которых мы уже писали в подразделе 1,8 — закон необратимости эволюции и закон последовательности прохождения фаз развития.

Первый из этих законов означает, что не может быть повторен когда-то существовавший, но вымерший организм. С позиций этого закона совершенно бредовыми представляются идеи о нашумевших якобы «воскрешениях» динозавров (в том числе и в сюжетах многих художественных фильмов) из каких-то гипотетических кла-

док яиц. Допустим, что мы всё же сможем восстановить до деталей реальные условия существования тех же динозавров. Однако и это обстоятельство не может повернуть эволюционный процесс назад: из сохранившихся до нашего времени групп пресмыкающихся (рептилий) возникнут формы, ничего общего с динозаврами не имеющие (или имеющие чисто формальные черты сходства).

Из данного закона также следует, что не может быть эволюционно повторён и исчезнувший биогеоценоз, по крайней мере, уже по той простой причине, что эволюционно неповторимы организмы, входившие в его состав.

Поэтому следует весьма критически относиться к различного рода оптимистическим прогнозам о возможности «исправить» экологические ошибки, допущенные человеком. Существует предел, после которого экосистема восстановлению в прежнем виде не подлежит. Таковы суровые реалии закона необратимости эволюции.

Из второго закона (последовательности прохождения фаз развития) совершенно ясно, что невозможно заново родиться после смерти. Эволюция — это множество рождений и смертей, но поменять местами их нельзя, ибо всегда рождается другая, а не одна и та же особь.

Вообще говоря, исходя из свойства необратимости времени и законов эволюции, поиск биологического бессмертия — занятие крайне бесполезное. Жизнь возникла в результате необратимого и прогрессирующего процесса эволюции, именно благодаря смене бесчисленного множества поколений все более совершенных объектов живой природы. **Отсутствие смены, бессмертие — это конец эволюции и тупик жизни.**

С временным фактором связано также возникновение механизма *биоритмов* — своеобразных биологических «часов».

А.Д. Арманд (1988) указывает, что для снижения уровня вредного информационного «шума» среды, характеризующегося периодичностью (суточные и годовые циклы колебаний), организму необходимо было выработать собственные ритмы функционирования, синхронизированные с внешними ритмами. «Подстройка» метаболических процессов к сигналам снаружи при этом происходила с минимальными затратами энергии. Однако для этого организму необходим собственный генератор колебаний — осциллятор.

М. Эйген (1973) с этих позиций исследовал свойства органических макромолекул — гиперциклов и установил, что различные возмущения (мутации, ускорение и замедление катализа) прокатываются по кольцу волной, которая при некоторых условиях может перейти в режим незатухающих осцилляций. М.А. Жаботинский (1974) доказал возможность создания источников незатухающих

колебаний с помощью смеси помещенных в раствор неорганических компонентов, т.е. «зародыши» биоритмов могли сформироваться еще на добиологическом этапе зарождения жизни.

Е. Холлинг (*Holling*, 1976) рассматривает биоосцилляторы в качестве заменителей неорганизованного «шума». Создание внутреннего «шума» он считает «стратегией самоослабления». По его мнению, биоосцилляторы являются важным приспособительным признаком, так как постоянные колебания параметров организма в нужном диапазоне частоты и амплитуды способствуют более легкому отысканию меняющейся во времени оптимальной интенсивности метаболических реакций и других процессов.

В этом плане (по А.Д. Арманду) зарождение биоритмов можно считать первым шагом в создании аппарата биологического моделирования внешней среды и, следовательно, прогнозирования периодических явлений.

Интересно отметить, что биоритмы были известны еще мудрецам древности. В древнеиндийском учении о жизни (Аюрведе) отмечено, что в течение суток последовательно сменяются три периода, по 4 часа каждый. Первый период «Капха» (покой) начинается с восхода солнца. За ним следует период «Питта», характеризующийся энергетической активностью, и, наконец, наступает третий период «Вата», на физиологическом уровне это период двигательной активности, наивысшей работоспособности (примерно с 14 до 18 часов пополудня). Далее идет повторение периодов. Древние мудрецы считали, что именно в таком ритме живет весь мир животных и растений. В принципе ими была правильно подмечена связь биоритмов с положением Солнца.

В заключение данного подраздела отметим, что сам процесс эволюции возможен потому, что единый континуум «пространство-время» содержит координату времени. Эволюцию в наиболее общем плане можно понимать как *развитие* каких-либо объектов (организмов, экосистем и др.) во времени, при котором они изменяются таким образом, что их последующие состояния все больше удаляются от первоначального, исходного. Само понятие «развитие» включает как *саморазвитие*, так и *вынужденное развитие*. Саморазвитие включает самоорганизацию и саморегулирование. Вынужденное развитие происходит под управляющим воздействием внешних по отношению к объекту сил (более подробно эти вопросы рассмотрены в 5 разделе). Развитие может включать *стационарные состояния*, при которых изменения не удаляют состояние системы от средней точки или не происходят вовсе. Саморегулируемые системы, к числу которых относятся организмы и экосистемы, стационарное состояние поддерживают благодаря процессам *функционирования*, сущность которых сводится к пополнению убыли запасов энергии, вещества

и информации путем обмена с внешней средой. Таким образом, более точно эволюцию можно определить как разрешение противоречий между стационарным состоянием объектов и их развитием. Частным случаем изменений с сохранением стационарного состояния является *циклическое изменение* (см. раздел 6), отличающееся большей или меньшей периодичностью. В природных системах циклические изменения проявляются через *круговороты вещества*. Если развитие представить в виде однонаправленного вектора — стрелы, а циклические изменения (круговороты) — в виде векторного круга, то эволюция геометрически будет представлена их суперпозицией — векторной спиралью. Реализацию такой спирали на практике можно проиллюстрировать множеством фактов (выход животных организмов на сушу и затем повторный их уход в водную среду, но на более высоком уровне самоорганизации; появление и вымирание крупных и гигантских форм животных — сначала насекомых и аммонитов, затем — рептилий и, наконец, млекопитающих и т.д.).

В иерархии процессов отдельные отрезки циклических изменений и функционирования могут рассматриваться как развитие (движение к какой-то фиксированной точке). Развитие, в свою очередь, может складываться из неполностью замкнутых циклов и включать в себя функционирование.

Если физическое пространство обозначить в форме экосистемы или пространства существования организмов, а время — через эволюцию, то получим экологический вариант физического закона единства пространства и времени: *любая экосистема и любой организм эволюционирует только в окружающей их среде и за счет этой среды*.

2.7. БИОТИЧЕСКИЕ ОТНОШЕНИЯ

Особи многих высших организмов не могут существовать в единственном виде уже по той простой причине, что одна особь не способна давать потомство. Для образования потомства нужны отношения между несколькими организмами, как минимум, двумя.

С.С. Шварц (1960) писал: «популяция — основная, а для высших животных — единственная форма существования вида. Так же как существование клетки многоклеточного организма немислимо вне организма, так и немислимо существование особи вне популяции. Это не значит, конечно, что популяция — организм высшего порядка, но это значит, что она — определенная организация (структурное целое) особей, вне которой они существовать не могут» (с. 7).

Принципиально важным достижением современной экологии является положение о том, что условия среды усваиваются организмами на популяционно-биоценотическом уровне, а не отдельными

особями вида. Поэтому экология в настоящее время изучает как экологию видов, так и экологию популяций и сообществ, а также биотические отношения между ними.

Исходя из вышеизложенного, совершенно очевидно, что организмы живут не только в абиотической, но и в биотической среде. Отношения, складывающиеся между организмами, получили название *биотических отношений*. Представители каждого вида способны существовать в таком биотическом окружении, которое обеспечивает нормальные условия жизни. Основными формами межорганизменных связей являются пищевая (пищевые взаимоотношения) и пространственная, т.е. разнообразные виды в природе объединяются не в любом сочетании и не в любом объеме пространства, а только при условии приспособленности к совместному обитанию (Радкевич, 1977; Чернова, Былова, 1981 и др.).

Вообще следует отметить, что в природе до настоящего времени не обнаружено стерильных организмов, существующих вне связи с организмами других видов. Даже в простейших одноклеточных имеются органеллы других организмов. Клетки некоторых *Mollusca* содержат протопласты потребляемых ими водорослей или высших растений. Внутриклеточные симбионты — бактерии и водоросли — известны среди различных простейших, губок и моллюсков (Кордюм, 1982). Пищеварительные органы позвоночных и беспозвоночных насыщены разнообразными видами простейших. Характерным примером является облигатный симбиоз между термитами и обитающими в их кишечнике жгутиковыми (*Flagellata*). Аналогичные связи существуют между тропическими муравьями-листорезами и грибами, живыми корнями растений и мицелием гриба (Одум, 1975).

Многочисленной микрофлорой заселен и желудочно-кишечный тракт человека. У некоторых высших животных (в основном, травоядных) масса бактериальной флоры может превышать 1/10 часть массы тела животного.

Еще до недавнего времени бактериальную флору медицины считали нежелательной и в определенной степени вредной. Но исследованиями академика А.М. Уголева и других авторов было установлено обратное — она не только не вредна, но и необходима для нормального развития физиологических функций организма.

В результате эволюции развились симбиозные отношения между организмом хозяина и бактериями, населяющими его желудочно-кишечный тракт. Между ними осуществляется обмен метаболитами (продуктами жизнедеятельности), в состав которых входят пищевые, различные неорганические компоненты, стимуляторы, ингибиторы, гормоны и другие физиологически активные вещества. Бактериальная флора служит своеобразным *трофостатом* — обес-

печивает нужное пищевое соотношение веществ, разрушая некоторые избыточные компоненты и образуя недостающие.

Исходя из вышесказанного, об особи как отдельном экземпляре живого или живом существе в стерильной среде говорить можно только условно. Столь же условными будут и рассуждения о «чистых» популяциях.

В ряде случаев биотические связи настолько тесны, что исчезновение одного вида влечет за собой исчезновение многих других видов. Вероятны и генетические связи группы видов через вирусы, что обуславливает необходимость сохранения «генетической среды».

Основные типы биотических отношений приведены в табл. 2.16

Таблица 2.16

Типы взаимоотношений организмов

ТИП	Его характеристика
Нейтрализм	Отсутствие какого-либо взаимного влияния
Конкуренция	Активное противодействие одного вида (популяции) другому (другой популяции).
Опосредованная конкуренция	Совместное использование какого-либо фактора (ресурса), но без непосредственного столкновения популяций (например дневные и ночные формы животных).
Аменеализм	Подавление одной популяции другой, не испытывающей обратного влияния.
Паразитизм	Жизнь одних организмов за счет других ("хозяев").
Хищничество	Нападение одних животных на других и питание ими (животные-консументы).
Комменсализм	Выгодное объединение с популяцией другого вида, для которого это объединение безразлично.
Протокооперация	Взаимодействие, полезное всем объединившимся видам (но не обязательное для них).
Мутуализм	Полезное и обязательное всем видам объединение.
Симбиоз	Общее название двух предыдущих типов (например, сосуществование водорослей, гриба и микроорганизмов в теле лишайника).
Синойкия	Форма протокооперации, наименее обязательная для всех видов сожителей.
Нахлебничество	Питание животных за счет пищевых компонентов, находимых ими в поселениях человека (на улицах и свалках, во дворах и других местах).
Аллелопатия	Химическое воздействие одних растений на другие продуктами метаболизма преимущественно с целью вытеснения.

К перечисленным выше типам следует добавить *межвидовую помощь*. Примером могут быть птицы, например, сороки, которые криком предупреждают крупных копытных об опасности. Известны также птицы, уничтожающие личинок паразитов под кожей

буйволов, очищающие пасть крокодилов и др. В мире растительности к этому типу взаимоотношений следует отнести связь растений с насекомыми-опылителями.

Анализируя приведенные выше типы биотических отношений, приходим к выводу, что все они могут быть сведены в три крупные группы — *трофических, конкурентных и содружественных* отношений.

Наиболее важной и всеобъемлющей является группа трофических отношений, так как ею охвачены практически все живые организмы. Даже растения, входящие в состав растительных сообществ, испытывают взаимное влияние (как со стороны соседей, так и на соседей).

Можно различать трофические отношения между растениями-продуцентами (*фитогенные отношения*), между растениями-продуцентами и консументами (наиболее важный вид отношений — *фитофагия*) и между отдельными видами консументов (хищничество и др.). Фитофаги подразделяются на *монофаги, олигофаги и полифаги*. Монофаги питаются лишь определенными растениями (колорадский жук, гутовый шелкопряд, свекловичный долгоносик и др.). Олигофаги употребляют в пищу группы близких видов растений (плодокорка, тля, и др.). Полифаги обычно поедают растительную массу многих видов растений (копытные, мышевидные грызуны, паразитические грибы и др.).

Еще один вид биотических отношений — *транспортная или посредническая* деятельность (функция).

В Среднеазиатских государствах достаточно широко распространено кожное заболевание — *пендинская язва* или пендинка. Язвы, как правило, образуются на открытых частях тела (лице, шее, руках), длительное время не заживают, оставляя после себя рубцы. Возбудителями болезни являются микроорганизмы, относимые к типу простейших. Как же они попадают в организм человека?

Было установлено, что носителями возбудителей болезни являются грызуны. Однако они обитают в пустыне и полупустыне за пределами городских и сельских поселений и с человеком практически не контактируют. Оказалось, что посредником между грызунами и человеком, осуществляющим перенос возбудителя, являются москиты и комары, которые в условиях сильной жары днем прячутся в норах грызунов и там от них заражаются болезнетворными простейшими.

Важнейшим видом межвидовых и внутривидовых отношений является конкуренция, поэтому ее рассмотрим более подробно. Конкурентные отношения играют большую роль в эволюционном развитии видов и являются определяющим механизмом простран-

ственного распределения видов и регуляции их численности (Чернова, Былова, 1981).

В случае ограниченных пищевых ресурсов два одинаковых в экологическом отношении вида сосуществовать не могут, и рано или поздно один вид вытесняет другой. Это так называемый *закон конкурентного исключения*, сформулированный Г.Ф. Гаузе. Согласно этому закону, в биоценозе уживаются только те виды, которые смогли разойтись в своих экологических требованиях и заняли разные экологические ниши.

Конкуренция наиболее отчетливо проявляется на уровне популяции. Когда численность особей в популяции приближается к насыщающей, в действие вступают механизмы регуляции: физиологические и поведенческие (территориальные и групповые).

Физиологическая регуляция проявляется в возрастании смертности особей, снижении плодовитости. Возникают драки за пищу, иногда имеют место явления каннибализма, в местах обитания накапливаются токсичные продукты метаболизма и т.п.

Территориальное поведение направлено на регулирование использования территории обитания. Групповое поведение выражается в субординации поглощения пищи особями разного возраста, половом доминировании и т.п. Обе формы поведения направлены на более экономное использование пищевых ресурсов; пища распределяется в первую очередь между сильнейшими членами популяции, а это, в свою очередь, ограничивает число особей, участвующих в размножении.

Особый тип биотических отношений начал складываться с появлением человека. Этот тип можно было бы назвать *социокультурным*, так как он включает человека не только как особь или сообщество, но и социальную организацию, орудия труда, одежду, жилища, средства религиозного и магического воздействия и т.п. Благодаря этому, человеку еще на стадии присваивающей экономики (первобытное общество), в отличие от других биологических видов, удалось приспособиться к самым разнообразным экологическим условиям и заселить почти всю планету.

В социокультурных биотических отношениях четко проявляются две тенденции — *разрушительная и конструктивная*.

Уже первобытный человек жил отнюдь не в гармонии с природой, как это представляют некоторые авторы. Разрушительное воздействие на природу он начал оказывать очень рано и, по мере того, как совершенствовались средства производства, это воздействие становилось все более глубоким и многосторонним. Так, люди позднего палеолита, занимавшиеся в основном охотой, полностью истребили ряд крупных животных, в том числе таких гигантов, как мамонты. На некоторых палеолитических стоянках сохранилось

огромное количество костей животных, что говорит о больших масштабах загонных охот. При этом уничтожалось больше животных, чем можно было употребить. Поэтому не случайно М.И. Будыко (1977) период позднего палеолита характеризует как эпоху «экологического кризиса».

Аборигены Австралии, которые находились в XIX веке в целом на стадии развития, соответствующей мезолиту, а некоторые племена — позднему палеолиту, не только уничтожили крупных сумчатых животных целого континента, но и систематически выжигали кустарники и траву на огромных пространствах. Это, по мнению некоторых ученых, привело к частичному исчезновению лесов и другим неблагоприятным последствиям.

Вымершие к концу XIX века аборигены Тасмании, которых европейцы застали на стадии развития, соответствующей позднему палеолиту, также систематически выжигали растительность на обширных пространствах острова. Экологический эффект этих пожаров, происходивших на протяжении тысячелетий, очень велик и необратим: изменился характер растительности и почвенного покрова, влажные леса уступили место кустарникам и саваннам, изменился климат.

Но даже в такой разрушительной в целом деятельности первобытного человека есть и конструктивная сторона. Искусственными пожарами создавалась новая среда — обширные угодья для охоты и пастбища со свежей травой, что способствовало увеличению поголовья животных — главного источника мясной пищи. По этому поводу Т. Митчелл (*Mitchell*, 1848), один из первых исследователей Австралии, писал: «Огонь, трава, кенгуру и люди — в Австралии все они зависят друг от друга, и если чего-либо одного не достает, остальное тоже не смогло бы существовать» (с. 412-413).

Многие исследователи отмечали, что аборигены Австралии не только умеют ухаживать за дикорастущими растениями, но и пытаются высаживать некоторые из них. Эпизодические посадки дикорастущих растений были свойственны семангам и саноям — представителям коренного населения полуострова Малакка.

2.8. ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЗМОВ НА АБИОТИЧЕСКУЮ СРЕДУ

В системе «организмы-среда» могут быть выделены четыре основных вида отношений: 1) влияние среды на организмы (условия существования организмов); 2) межорганизменные отношения (биотические); 3) влияние организмов на среду; 4) взаимодействия между компонентами (факторами) среды (рис. 2.21).

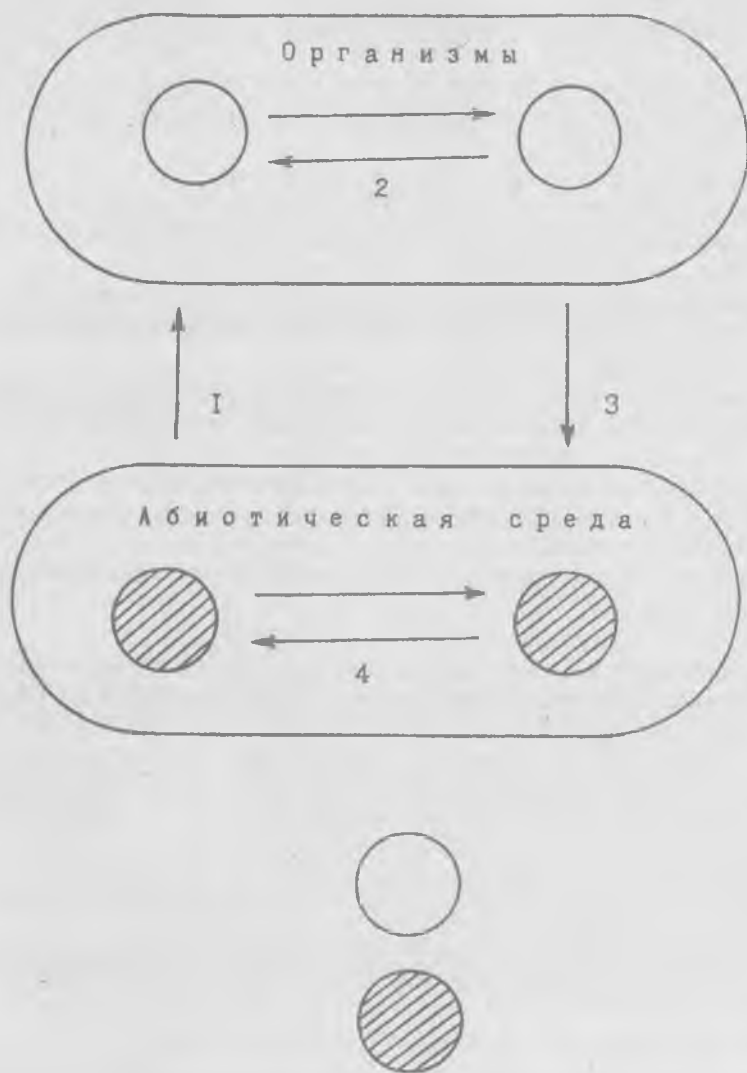


Рис. 2. 21. Виды отношений в системе «организмы-среда» (по Г.Ю. Валуконису и Ш.О. Мурадову). Цифрами обозначены конкретные виды отношений (см. текст)

Первые два вида отношений мы уже рассмотрели в подразделах 2.6 и 2.7. Ниже мы рассматриваем третий вид отношений (четвертый вид отношений в данной книге рассматриваться не будет, так как является объектом изучения в других науках, прежде всего, в геологии и геохимии).

Организмы являются активными участниками *экзогенных* (дословно — внешнерожденных) процессов, протекающих на поверхности Земли, в атмосфере, гидросфере и биосфере под влиянием солнечной энергии (выветривание, работа ветра и текучих вод, морских течений и волн, ледников и т.д.). Экзогенные процессы приводят к изменению и разрушению горных пород, переносу продуктов разложения и переотложению их в виде рыхлых осадков в пониженных участках рельефа. С течением времени рыхлые осадки преобразуются в менее или более плотные осадочные горные породы. Последние, погружаясь в области высоких температур, превращаются в метаморфические горные породы. В отдельных случаях они могут быть переплавлены с образованием магматических горных пород. Таким образом, организмы являются начальным звеном геологического круговорота вещества.

Можно выделить следующие аспекты влияния организмов на абиотическую среду.

Во-первых, их роль весьма существенна в процессах выветривания горных пород. Во-вторых, в результате жизнедеятельности организмов и при их отмирании образуются биогенные осадки (минеральные и собственно органогенные, т.е. организмы воспроизводят среду, в которой могут существовать другие организмы. В-третьих, организмы способны концентрировать значительные количества химических элементов. Так, в кремниевых губках содержание кремнезема в $6 \cdot 10^5$ раз больше, чем в морской воде; в морской траве железа в $2 \cdot 10^3$ раз, а йода в морских водорослях в $1,2 \cdot 10^6$ раз больше, чем в воде (Ершов и др., 1986).

По своему составу организмы существенно отличаются от состава окружающей их абиотической среды. Поэтому в результате своей жизнедеятельности они постоянно нарушают геохимическое равновесие в природе, изменяют среду. Организмам нужны не все элементы, с которыми они соприкасаются. По этой причине ряды распространенности элементов в организмах и окружающей их среде не совпадают. Если бы такое совпадение существовало, то, несомненно влияние организмов на среду было бы куда менее значительным.

Основные элементы, необходимые для жизнедеятельности организмов, и основные функции этих элементов перечислены в табл. 2.17

Биогенные элементы и их основные функции
(по Дж.М. Андерсону, 1985)

Элемент	Символ	Основная функция
Органогены (20-60% общего числа атомов)		
Водород	H	Составляющие любого органического вещества клетки
Углерод	C	
Кислород	O	
Макроэлементы (0,02-2% общего числа атомов)		
Азот	N	Необходимая составляющая белков и аминокислот
Натрий	Na	Важнейший катион, участвующий в передаче нервных импульсов
Магний	Mg	Кофактор многих ферментов, а также составляющая хлорофилла
Фосфор	P	Универсальный переносчик энергии и составляющая нуклеиновых кислот
Сера	S	Составляющая белков и других важнейших органических веществ
Хлор	Cl	Один из основных анионов
Калий	K	Важнейший катион, участвующий в передаче нервных импульсов, сокращении мускулов и т.д.
Кальций	Ca	Кофактор ферментов, важнейшая составляющая клеточных мембран и регулятор их активности
Микроэлементы (менее 0,001% общего числа атомов)		
Бор	B	Имеет большое значение для растений, скорее всего, как кофактор ферментов
Кремний	Si	Составляющая клеточных оболочек многих видов низших форм жизни (например, диатомей)
Ванадий	V	Составляющая респираторных пигментов многих низших животных
Марганец	Mn	Кофактор многих ферментов
Железо	Fe	Кофактор многих окислительных ферментов, а также составляющая гемоглобина
Кобальт	Co	Составляющая витамина B ₁₂ , необходим для фиксации азота
Медь	Cu	Кофактор многих окислительных ферментов
Цинк	Zn	Кофактор многих ферментов, например инсулина
Молибден	Mo	Кофактор многих ферментов, главным образом нитрогеназ (фиксация молекулярного азота)
Йод	J	Составляющая гормонов щитовидной железы

Сравним эту таблицу с данными табл. 3.2 (см. следующий раздел), в которой приведены элементы, преобладающие в земной коре. Сравнительный анализ показывает, что в главную «восьмерку» литосферных элементов попадает лишь один органоген — кислород. Второй по величине кларка элемент — кремний — в живых организмах играет лишь роль микроэлемента. Третий же элемент

«восьмерки» — алюминий — в табл. 2.3 не упоминается. Что касается углерода, то по атомной распространенности в литосфере он занимает лишь 11-е место ($6,7 \cdot 10^{-2}$ г-атом/кг).

Здесь необходимо подчеркнуть одну особенность организмов: высокие содержания в их составе таких элементов-органогенов, как водород и кислород, обусловлено тем, что организмы в среднем на 75% состоят из воды. Эволюционно эта особенность обусловлена происхождением жизни именно в водной среде, а также химическими свойствами воды, как среды, наиболее благоприятной для процессов метаболизма. С этих позиций организмы являются в большей мере частью гидросферы, чем частями других оболочек Земли.

В сухом органическом веществе растений преобладают полимеры вида $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$, главным образом целлюлоза. Формула целлюлозы ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n, название произошло от лат. *cellula* — клетчатка. Древесина содержит от 50 до 70% целлюлозы (клетчатки). Почти чистую целлюлозу представляет собой хлопок.

Аналогичную целлюлозе формулу имеют также два других высших полисахарида — крахмал и гликоген (животный крахмал). Крахмал образуется в зеленых листьях в виде зерен и является первым видимым в микроскоп продуктом фотосинтеза. Гликоген обеспечивает мышечную работу. Особенно много его в печени (до 20%) и в тканях мышц (4%). Различие свойств и физиологической роли целлюлозы, гликогена и крахмала объясняется различным соединением в них остатков молекул глюкозы.

Общее число глюкозных остатков в молекуле целлюлозы равно в среднем 6000-12000, что соответствует молекулярному весу 1000000-2000000.

Из химической формулы целлюлозы видно, что в весовом отношении в ней, как и в воде, преобладает кислород (49,44%), а углерод находится на втором месте (44,44%). Весьма интересно отметить, что содержание кислорода в целлюлозе очень близко к кларку этого элемента в земной коре (46,6%).

Особым продуктом жизнедеятельности организмов является почва (подробнее о ней см. в разделе 4), причем главную роль в ее формировании играют различные микроорганизмы. Наибольшее их число обитает в верхнем слое почвы толщиной 0,3-0,4 м, где активно протекают процессы биохимического окисления. Различные группы микроорганизмов выполняют различные функции. Так, бактерии минерализуют органическое вещество, участвуя в циклах превращения одного или нескольких элементов. Например, нитрофицирующие бактерии в аэробной среде окисляют аммиак до солей азотной и азотистой кислот, в анаэробной среде, наоборот, восстанавливают эти соли до азота. Наличие микроорганизмов в почвах важно и с точки зрения сохранения их плодородия, так как именно микроор-

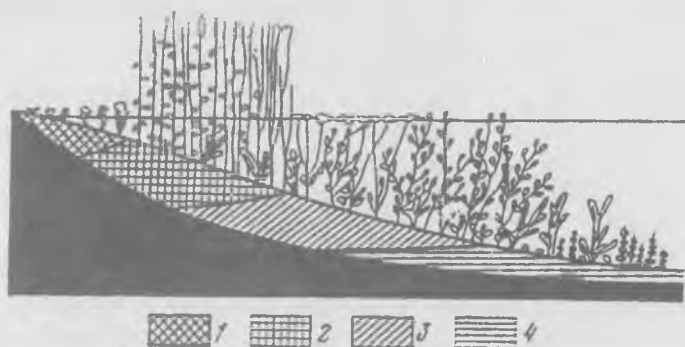


Рис. 2.22. Схема зарастания озера донной растительностью:
 1—осоковый торф; 2—тростниковый и камышовый торф;
 3—сапропелевый торф; 4—сапропелит

газизмы многие минеральные удобрения трансформируют в биологически доступную форму.

Активную роль организмы играют в образовании отложений озер и, особенно, болот. Болота-участки суши характеризуются избыточным увлажнением, развитием болотной растительности и образованием *торфа*. Одним из путей образования болот является постепенное зарастание озерных водоемов (рис. 2.22). Торф образуется при отмирании болотной растительности (мохов, трав, деревьев, кустарников). В тропиках и субтропиках торф образуется в условиях постоянной обводненности из остатков древесной растительности с воздушными корнями — *мангров*. При погружении и захоронении торфяника (покрытии его толщами других пород) торф преобразуется в бурый уголь, а затем — в каменный уголь и антрацит.

Таким образом, благодаря тому, что состав организмов существенно отличается от состава литосферы, их отмирание приводит к формированию таких образований, которые в абиогенной природе не встречаются. Эволюция этих образований также весьма разнообразна. Так, преобразование торфа в угли сопровождается его углефикацией. В ходе этого процесса на первое место по содержанию выходит углерод. В антрацитах и суперантрацитах такие элементы, как кислород, водород, сера и азот, практически полностью теряются. Этот процесс еще раз наглядно показывает, что «стержневым» элементом живого и мертвого органического вещества все же является не кислород, а углерод.

Еще одним широко распространенным биогенным образованием является *сапропель*, который отлагается на дне мелких, небольших озер, особенно равнинных областей и представлен глинистым

илом, богатым органическим веществом. Сапропель образуется в основном за счет водорослей, составляющих планктон. В составе водорослей ведущая роль принадлежит белкам и жирам. Разлагаясь на дне водоема в анаэробных условиях, их остатки образуют жидкую коллоидальную массу с резким запахом сероводорода. Это и есть сапропель. Уплотняясь и теряя воду, он превращается в коричнево-черную плотную, но очень легкую массу — *сапроколла* (от греч. «кол-ла» — клей).

Из высших растений, богатых углеводами, сначала образуется *перегноя* или *гумус* (от лат. «хумус» — земля), который составляет основу торфа. За счет разложения входящих растений спор и покровных тканей образуется *липтобиолиты* (от греч. «лейптос» — остаточный).

Органогенные осадки широко распространены также в морях и океанах, особенно в шельфовой зоне. Они здесь образуются в основном благодаря отмиранию различных донных организмов. Наиболее распространены известковые органогенные осадки.

Все живые организмы в том или ином количестве в скелетах и тканях содержат фосфор. В местах массовой гибели организмов при изменении температуры, давления и солености на морском дне образуются фосфатные осадки, имеющие форму желваков (конкреций). Под действием углекислоты фосфаты опять могут переходить в раствор. В результате на глубинах 300-800 м создаются высокие концентрации фосфора, достигающие 300-1000 мг/м³. При попадании обогащенных фосфором вод в зону шельфа происходит пере-сыщение воды фосфором и выпадение коллоидного осадка фосфатов на глубине 100-150 м (рис. 2.23).

Биохимическим путём образуются и отложения серы, которые возникают за счет разложения органических остатков и сульфатных солей в восстановительной среде анаэробными бактериями. Сера образуется также при отмирании этих бактерий, тела которых насыщаются серой. Биохимические процессы существенно влияют также на осаждение из морской воды урана, ванадия и некоторых других элементов.

Среди органогенных осадков океанического ложа (на глубинах свыше 3000 м) развиты известковые и кремниевые отложения. Известковые илы представляют собой скопления микроскопических раковин простейших организмов (глобигерин и птероподов). Распространены они до глубины 4000 м. Ниже этого уровня известковые илы не осаждаются, так как тонкие раковины растворяются на больших глубинах в воде, недонасыщенной CaCO₃. Здесь кремнистые органогенные осадки представлены диатомовыми и радиоляриевыми илами, сложенными панцирями диатомовых водорослей и раковинами радиолярий.

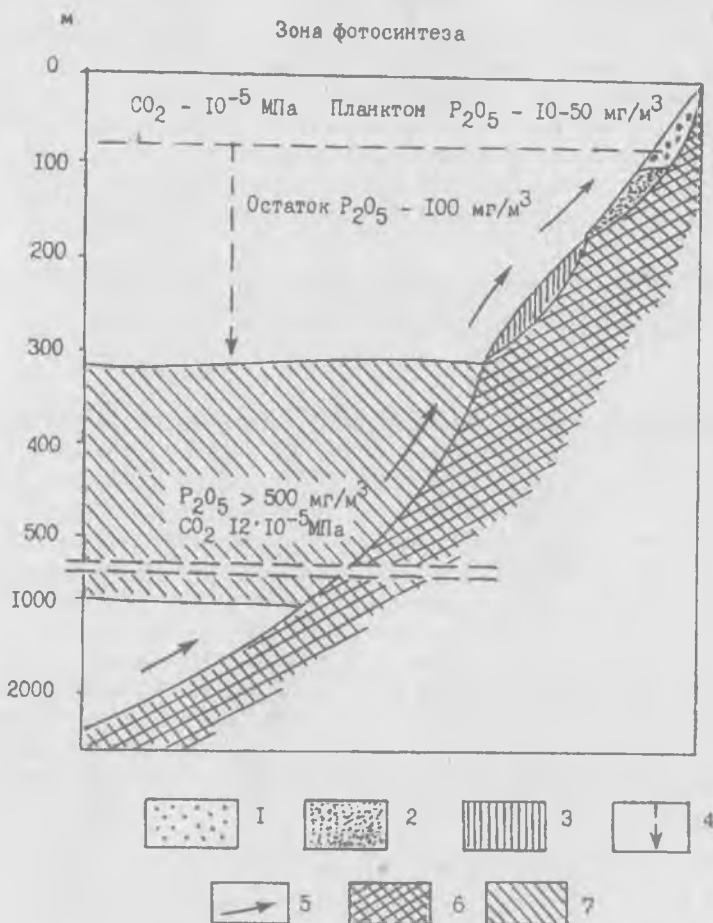


Рис. 2.23. Схема фосфоритообразования (по А.В. Казакову)
 1—фация береговых отложений; 2—фосфоритно фация;
 3—фация известковых осадков; 4—падение остатков планктона;
 5—направление течений; 6—коренные породы дна моря;
 7—зона максимума CO_2 и P_2O_5 в растворе

В результате сложных процессов, имеющих общее название *ди-агенез*, осадки преобразуются в горные породы.

Организмы участвуют в образовании многих горных пород, иногда образуя пласты, протяженностью в десятки и сотни километров и мощностью в десятки метров. Такие породы называют органическими или горными породами органогенного происхождения. На наш взгляд, оба термина не являются точными. Первый

термин имеет расширительный смысл, так как ещё из курса органической химии известно, что целый ряд органических веществ может быть получен из неорганических. Второе словосочетание вообще на нормальный язык переводится как бессмыслица: «органически произошедшего происхождения». Поэтому лучше применять либо термин «органогенные породы», либо «организменные породы». Второй термин предпочтительнее, когда порода состоит из скелетных остатков организмов.

Ниже дана краткая характеристика наиболее распространённых осадочных органогенных горных пород.

Известняки. Образуются из целых раковин и обломков раковин морских организмов, рифовых построек кораллов, а также известковых водорослей. В зависимости от того, из остатков каких морских организмов сложены известняки, они и получают соответствующие названия (фузулиновые, нуммулитовые, раковинные или ракушечники, коралловые и др.). Известняки могут образоваться и в результате биохимических процессов, когда химические вещества, выделяемые организмами, вступают в реакцию с веществами, растворёнными в морской воде, и выделяют карбонат кальция.

Мел. Тоже карбонатная порода. Образовался в основном в теплых морях мелового периода (отсюда и его название), в которых жили многочисленные мельчайшие простейшие — глобигерины. На дне моря происходило накопление скорлупок этих животных, а также скелетных остатков известковых водорослей, которые затем уплотнились и сцементировались.

Диатомит. Образовался из кремниевых остатков диатомовых водорослей (диатомей). В 1 см³ диатомита содержится около 5 млн организменных остатков.

Трепел. Образуется в результате скопления на дне моря кремневых зёрнышек, представляющих собой продукты разложения кремниевых скелетов радиолярий, диатомовых водорослей и губок. Трепел, как и диатомит, внешне очень напоминает мел или муку.

Фосфориты. Образуются из продуктов разложения планктонных морских организмов, концентрирующих в своём теле фосфор.

Каустобиолиты — ископаемые горючие породы, возникшие за счет массового захоронения и дальнейшего преобразования остатков растительных или животных организмов. Встречаются в природе в твердом, жидком и газообразном состоянии. К этой группе относятся ископаемые бурые и каменные угли, горючие сланцы, торф, нефть, природные подземные газы, озокерит (горный воск), янтарь и некоторые другие.

Из перечисления органогенных пород может создаться впечатление, что организм воздействует в основном на литосферу — твердую оболочку Земли, изменяя её минеральный и химический состав.

В действительности это далеко не так: организмы активно воздействуют также на атмосферу и гидросферу.

Пожалуй, эволюционно первым и наиболее существенным влиянием организмов на атмосферу явилось изменение ее состава за счет продуцирования кислорода, что способствовало появлению новых групп организмов, использующих кислород для дыхания. Кроме того, появился озоновый экран, нейтрализовавший наиболее губительную для живых клеток часть ультрафиолетового излучения, что позволило организмам освоить сушу. Одновременно под воздействием биогенного фактора уменьшалось содержание CO_2 .

Главный компонент атмосферы — азот. Большинству организмов непосредственно он недоступен, так как они не могут использовать его в газообразном состоянии. В биосферу азот поступает благодаря деятельности азотфиксирующих бактерий, которые переводят его в белковое состояние, после чего он становится доступным высшим растениям. К числу азотфиксирующих бактерий относится, например, *Azotobacter*. Это аэробная бактерия. К числу анаэробов-фиксаторов азота относятся, например, *Bacillus* и *Enterobacter*. В симбиотических системах поставщиком азота (в виде аммиака) являются клубеньковые бактерии (*Rhizobium*), обитающие в корнях бобовых растений. Растворенный в подземной воде аммиак поглощается либо непосредственно, либо после нитрификации. Бактерии осуществляют и обратный процесс — денитрификацию, восстанавливая ион NO_3^- до N_2 (например, *Pseudomonas* и *Thiobacillus denitrificans*) или до NH_3 . В водных средах фиксацию азота осуществляют сине-зеленые водоросли. За год организмами фиксируется около 120-130 млн тонн азота.

Очень велика роль бактерий в преобразовании органических остатков. Причем большая их часть превращается в газы, главным образом, CO_2 и CH_4 (болотный газ).

Природный принцип биогенного образования метана используется в промышленных технологиях получения биогаза. Такие технологии известны еще с конца прошлого века (1885 г.)

Биогаз — это смесь газов: метан 55-65%, углекислый газ 35-45%, примеси азота, водорода, кислорода, сероводорода и инертных газов, а также паров воды. Образуется в процессе разложения навоза, соломы, различных бытовых отходов целлюлозными анаэробными бактериями при участии бактерий метанового брожения.

Кроме метанообразующих в природе широко развиты бактерии, окисляющие метан и его гомологи. Так как наиболее интенсивные потоки газо- и парообразных нефтяных углеводородов (в основном, диффузионного характера) существуют над залежами нефти и газа, то для их поисков был разработан *геомикробиологический метод*, основанный на выявлении в породах и подземных водах микроорганизмов, избирательно окисляющих метан, этан, пропан и другие углеводороды (Могилевский, 1937; Каретников, Валуконис, 1972 и др.).

Из более чем 150 тыс. видов микроорганизмов лишь 100 видов могут использовать углеводороды в качестве источника питания: около 65 видов ассимилируют предельные углеводороды, из них только 10 газообразные, 20 парообразные, а остальные жидкие. Таким образом, углеводороды с большим молекулярным весом микроорганизмами окисляются легче, чем углеводороды с меньшим молекулярным весом.

Из индикаторных наибольшее значение имеют *Pseudomonas methanica*, *Bacterium methanicum* и *Mycobacterium rubrum*. Большинство культур способно окислять всю гамму тяжелых углеводородов парафинового ряда. Наиболее широкий диапазон имеют *Pseudomonas*. Культуры *Mycobacterium* в основном используют газообразные углеводороды $C_3 - C_4$ и жидкие до C_{10} . Представители рода *Bacterium* преимущественно окисляют тяжелые углеводороды $C_6 - C_{10}$. Однако имеются виды бактерий, биоэнергетическим материалом для которых служат лишь определенные углеводороды. Так, например, *Pseudomonas methanica* выявлен только в атмосфере метана. Микроорганизмы *Mycobacterium rubrum var. propane*, окисляющие пропан и более тяжелые по отношению к пропану углеводороды, не способны усваивать метан и этан.

Г.Ю. Валуконис с соавторами (Валуконис и др., 1971; Каретников и др., 1975) установили, что индикаторными на газообразные углеводороды, мигрировавшие из залежей нефти и газа, могут быть некоторые сумчатые грибы. Эти грибы обнаружены в посевах почвенных проб, отобранных над нефтяными месторождениями Предкарпатья и Днепровско-Донецкой впадины. В дальнейшем были выделены чистые культуры индикаторных сумчатых грибов *Penicillium glaucum* и *Aspergillus niger*.

Организмы активно воздействуют также на некоторые компоненты гидросферы. Особенно велика здесь роль простейших (радиолярий, глобигерин и др.), кораллов и моллюсков, которые для постройки своего внешнего скелета используют растворенные в морской воде кремнезем и карбонат кальция.

При участии органического вещества в подземных водах происходит микробиологическое восстановление сульфатов. Интенсивность микробиологической сульфатредукции в подземных водах

Раздел 3

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА: СОСТАВ, СВОЙСТВА, ЭВОЛЮЦИЯ, РОЛЬ В РАЗВИТИИ ЖИЗНИ

3.1. ПРИРОДА И СРЕДА

Другим (после организмов) фундаментальным понятием экологии является понятие *экологической среды*. При этом для экологии, как комплексной и бурно развивающейся науки, характерна чрезвычайная терминологическая путаница. Многие термины в достаточной мере неустоявшиеся, многозначны, а иногда — просто бессмысленны.

Поэтому не случайно, что первый подраздел данного раздела полностью посвящен вопросам терминологии. При этом авторы стремились избежать ситуации, определенной шуточным высказыванием А.Эйнштейна: «Для обоснования этой уверенности у меня нет логических аргументов, могу только привести в свидетели свой мизинец, который нигде не пользуется авторитетом, кроме как на моей руке» (Переписка Эйнштейна и Борна, 1972; Бройль, 1963).

В данном разделе рассматривается только неживая (косная или абиотическая среда), окружающая организм (организмы) и тем или иным образом воздействующая на него (или сообщество).

Очень часто в литературе по экологии термин «среда» отождествляется с понятием «*природа*» («окружающая природа», «природная среда» и т.п.).

Поэтому необходимо четко осознавать, что понятие «природа» имеет несколько совершенно различных значений. В наиболее об-

щем смысле под природой понимается мир Вселенной или Космос в доступных для их изучения пределах (Метагалактика). В более узком смысле под природой понимаются тела и явления внутри Земли и в пределах ее внешних оболочек (биосфера, гидросфера и атмосфера). Еще одно понятие природы связано с окружением человека, в пределах которого протекает его хозяйственная деятельность. Таким образом, понятие «природа» не является строгим и по этой причине не может быть приоритетным в экологии как науке.

Предпочтительнее использовать понятие «среда». При этом под средой понимается комплекс природных тел и явлений, с которыми организмы находятся в прямых или косвенных взаимоотношениях (Сытник и др., 1987). Однако и это определение неполное, так как часто в качестве среды одних организмов выступают другие организмы. Иногда термины «природа» и «среда» применяются совместно в различных сочетаниях. Наиболее употребительные термины, производные от этих терминов, приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Некоторые термины, характеризующие среду

Термин	Его сущность и применимость
1	2
Природа "дикая"	Участки природы, не нарушенные хозяйственной деятельностью человека
Природа "первая", "вторая", "третья"	Соответственно-естественные экосистемы, преобразованные человеком и искусственно созданные
Внешняя среда	Совокупность вещества и явлений вне объекта или субъекта
Искусственная среда	То же, что и природа "третья"
Окружающая среда	Понятие бессмысленное. Следовало бы писать, например, "среда, окружающая человека, город" и т.п.
Природная среда	Совокупность естественных и измененных человеком тел и явлений неживой и живой природы, влияющих на организмы
Абиотическая среда	Тела и явления неживой природы, воздействующие на организмы (в биогеоценозе-экотоп)
Биотическая среда	Организмы и явления природы, связанные с их влиянием на другие организмы и абиотическую среду (в биогеоценозе-биоценоз)
Среда обитания	Непосредственно окружает организм
Водная, наземная, воздушная, почвенная	Пояснений не требует
Организмы, как среда	Среда существования паразитов

1	2
Антропогенная среда	То же, что и "третья" природа и искусственная среда
Питательная среда	Смесь веществ для выращивания организмов (чаще всего, микроорганизмов) в лабораторных и производственных условиях
Социальная среда	Связана с отношениями между людьми (и их группами) и создаваемыми ими материальными и культурными ценностями
Экологическая среда	То же, что и понятие "среда", но включающая также живые организмы, влияющие на другие организмы

С понятиями «природа» и «среда» связаны условия существования организмов. Под этим понятием подразумевается набор (сумма) жизненно необходимых факторов среды, без которых живые организмы не могут существовать. Условия существования проявляются через факторы, в том числе экологические (определение термина «экологический фактор» дано в подразделе 1.6).

Взаимосвязь организмов со средой может быть выражена через понятие *биотопа* (см. подраздел 1.3). Под биотопом подразумевается участок среды обитания организмов с более или менее однородными условиями существования, сформировавшимися в результате воздействия биоценоза на экотоп; иными словами, это участок, на котором развит биогеоценоз (например, илистое дно пресноводного водоема, барханные пески пустыни и др.).

Совокупность близких биотопов составляет *биоход*. Биохоры, в свою очередь, объединяются в *биоциклы*. Наиболее крупными биоциклами являются суша, море, внутренние водоемы. Совокупность биоциклов является не чем иным как реально существующим пространством биосферы.

3.2. ОБОЛОЧКИ ЗЕМЛИ, ЛИТОСФЕРА

Наиболее крупными элементами абиотической среды являются оболочки Земли или *геосферы*. Всего известны три *внутренние* (ядро, мантия и земная кора) и три *внешние* (биосфера, гидросфера, атмосфера) оболочки. Наиболее активны относительно организмов внешние оболочки. Из внутренних оболочек наибольшее значение имеет земная кора или *литосфера* (от греч. «литос» — камень). Верхнюю ее часть еще называют *сиаль* (название произошло от преобладающих в ней катионов — $Si+Al$).

Другие внутренние оболочки существенной роли в абиотической среде не играют (если не считать глубокофокусных землетрясений, эпицентры которых размещены в мантии, и очагов магматизма, расположенных в ее внешней части).

Ниже, а также в последующих подразделах дана краткая характеристика этих оболочек. Биосфера как глобальная оболочка, в пределах которой существуют живые организмы, рассмотрена отдельно (см. раздел 4).

Литосфера (земная кора) — верхний твердый слой Земли, который располагается между ее поверхностью и сейсмической границей Мохоровичича (Мохо). Мощность земной коры в области материков и океанического дна неодинакова. Под материками ее мощность в среднем 35-40 км, в горных складчатых областях возрастая до 75-80 км.

Под океанами земная кора тоньше и варьирует в пределах 10-20 км, включая слой воды. Земная кора состоит из трех слоев: базальтового, гранитного и осадочного. Под океанами гранитный слой в общем случае отсутствует, т.е. различают земную кору двух типов — континентальную (трехслойную) и океаническую (двухслойную). Схематически строение земной коры показано на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Строение земной коры:

1—верхняя мантия; 2—базальтовый слой; 3—гранитный слой;
4—осадочный слой; 5—толща океанической воды

Определение химического состава литосферы зависит от того, какое соотношение слоев мы принимаем при расчетах. В частности, А.П. Виноградов (1962) считал, что вероятнее всего земная кора представляет собой смесь кислых и основных магматических пород в соотношении 2:1. А. Полдерварт (1955) допускал, что земная кора состоит из 40,8% гранодиорита, 10,3 — диорита и андезита, 48,9% — базальта и толекта. Отсюда разные авторы получают несколько отличные друг от друга значения состава земной коры. Среднее содержание какого-либо элемента в земной коре (или в другой системе) получило название *кларка*. Этот термин был введен академиком А.Е. Ферсманом в честь американского ученого Ф. Кларка (*Clarke*, 1923), который первый обосновал числа, характеризующие распространенность элементов в земной коре.

В земной коре присутствует практически вся таблица Менделеева, однако восемь элементов составляют почти 99% всей массы коры (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Преобладающие в земной коре химические элементы
(по Б.Мейсону, 1971)

Элемент	Весовые % (кларки)	Атомные %	Объемные %
O	46,60	62,55	93,77
Si	27,72	21,22	0,86
Al	8,13	6,47	0,47
Fe	5,00	1,92	0,43
Mg	2,09	1,84	0,29
Ca	3,63	1,94	1,03
Na	2,83	2,64	1,32
K	2,59	1,42	1,83

Таким образом, земная кора по химическому составу представлена упаковкой анионов кислорода, связанных через кремний и алюминий с металлами (Fe, Mg, Ca, Na и K). Поэтому литосфера может быть названа *оксисферой*. Вполне логично предположить, что в ходе геохимической эволюции она, наравне с массами воды, являлась основным поставщиком кислорода в атмосферу.

В связи с этим небезинтересно отметить, что на долю кислорода в массе живого вещества приходится около 70% (весовых). Поэтому нередко живое вещество называют «кислородным веществом». Кислорода, связанного с водородом и образующего воду, в организмах содержится от 50 до 90% от их массы.

Если учесть то обстоятельство, что кислород преобладает также в гидросфере, а в атмосфере по количественному содержанию он находится на втором месте (после относительно химически инертного газа азота), то становится очевидным, что с геохимических позиций кислород является связующим звеном четырех оболочек Земли (литосферы, гидросферы, биосферы и атмосферы). Примечательно, что значительные количества кислорода обнаружены также в метеоритном веществе. Так, академик А.Е.Ферсман приводит следующие данные по содержанию химических элементов в метеоритах: Fe—37,04%, O—28,56%, Mg—11,03%, Si—14,47%.

Интересующихся закономерностями распространения химических элементов в литосфере и формами их нахождения отсылаем в прекрасной сводке Г.В.Войткевича и В.В.Закруткина (1976).

Существует прямая зависимость между кларками элементов и количеством минеральных видов. Эта зависимость представлена в табл. 3.3 (данные П.П.Пилипенко из приведенной выше сводки).

Таблица 3.3

Зависимость числа минералов от атомных кларков элементов

Элемент	Атомный кларк	Число минералов	Элемент	Атомный кларк	Число минералов
O	53,39	1538	Fe	1,31	346
H	17,25	1024	K	1,05	115
Si	16,11	500	C	0,50	127
Al	4,8	344	Ti	0,22	75
Na	1,82	256	Cl	0,10	111
Mg	1,72	220	F	0,07	97
Ca	1,41	441			

Для менее распространенных элементов указанная закономерность нарушается.

Несовпадение данных по кларкам элементов в табл. 3.2 и 3.3, как мы уже отмечали выше, объясняется различным объемом исходного материала и соотношения его компонентов в работах различных авторов, т.е. какого-либо единого эталона пока не существует.

Экологически важным вопросом является историческое соотношение базальтовой, гранитной и осадочной оболочек (слоев) земной коры. В принципе несомненна вторичность осадочных слоев.

Что касается соотношения базальтового и гранитного слоев, то здесь существуют полярные мнения: одни исследователи допускают гранитизацию коры океанического типа, другие — базальтизацию коры континентального типа.

При этом следует учесть, что когда мы говорим о гранитной оболочке (или слое), то на самом деле речь идет о целом комплексе магматических и метаморфических горных пород: гранитах, гранодиоритах, гнейсах, диоритах, кристаллических сланцах и др. Однако все эти породы по своим свойствам близки к гранитам, поэтому граниты выступают как бы модельным эквивалентом всех этих пород. Средняя плотность пород гранитного слоя составляет $2,7 \text{ т/м}^3$. Гранитная оболочка от вышележащего осадочного слоя отделена резкой сейсмической границей (скачок скоростей упругих волн около $0,7 \text{ км/с}$).

То же самое можно сказать о базальтовой оболочке. Это тоже целый комплекс магматических пород, но по своим свойствам близких к базальтам. Средняя плотность этих пород $2,9 \text{ т/м}^3$, а скорость распространения сейсмических волн в них повышается от $5,0-6,5 \text{ км/с}$ (гранитный слой) до $6,0-7,6 \text{ км/с}$.

Сравнительные данные по составу базальтов и гранитов приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Состав базальтов и гранитов земной коры, ат. %
(по Я.Мияки, 1969)

Элемент	Базальты	Граниты	Разность
H	3,78	1,82	+1,98
O	59,23	62,14	-2,91
Na	2,11	2,29	-0,18
Mg	3,23	0,45	+2,78
Al	6,50	5,81	+0,69
Si	17,23	23,90	-6,67
P	0,14	0,05	+0,09
K	0,68	1,78	-1,10
Ca	3,37	0,72	+2,65
Ti	0,36	0,10	+0,26
Mn	0,09	0,03	+0,06
Fe ²⁺	1,87	0,50	+1,37
Fe ³⁺	1,42	0,41	+1,01

Знак «+» в этой таблице означает, что при переходе базальтов в граниты в цепи сложных геохимических превращений такие элементы, как H, Mg, Al, P, Ca, Ti, Mn и Fe, уходят либо в осадочные и метаморфические породы, либо в гидросферу. Элементы со знаком разности «-», наоборот, накапливаются в гранитах (O, Na, Si, K), хотя, разумеется, не исключен их частичный уход за пределы цикла. Удивляет дисбаланс водорода и кислорода. На наш взгляд, это свидетельствует о том, что, хотя водород может теряться в основном в виде

молекул H_2O , потери кислорода компенсируются путем его накопления в гранитах за счет других геохимических процессов.

В целом баланс химических элементов, приведенных в таблице 3.4, понятен. Для большинства из них он не требует каких-либо сложных объяснений. Так, дефицит фосфора в гранитах обусловлен его уходом при геохимических преобразованиях базальтов в осадочную оболочку (образование фосфоритов, см. подраздел 2.8). Значительное количество магния перешло в морскую воду, а из нее — в соляные месторождения сульфатного и хлоридного типов (кизерит, лангбейшит, бишофит, эпсомит, карналлит и др.). За счет ухода марганца и железа образовались мощные толщи марганцевых и железных руд осадочного происхождения. Кальций связывался с CO_2 (частично и магний) с образованием пластов известняков и доломитов.

Если суммировать разности элементов со знаком «-», то получим суммарную разность 10,86. Сумма разностей элементов со знаком «+» дает цифру 12,87, что на 2 единицы превышает предыдущую. Это также является важным подтверждением образования гранитного слоя за счет коренной переработки базальтового слоя. «Избыточные» две единицы, очевидно, ушли на формирование части осадочных пород и химического состава гидросферы.

Параллельно осуществим сопоставительный анализ минерального состава базальтовой и гранитной оболочек.

Минеральный состав гранитов примерно следующий (в скобках дано содержание минералов в гранодиоритах): кварц — 40 и более % (20-30%); калиевые полевые шпаты — до 40% (10-20%); плагиоклазы — до 20% (30-40%), слюды 5-10% (также 5-10%); другие минералы встречаются редко. Плагиоклазы представлены кислыми разностями (натриево-кальциевыми алюмосиликатами с резким преобладанием натрия над кальцием).

В состав базальтов входит до 50% плагиоклазов (менее кислых по содержанию SiO_2 и с более высоким содержанием кальция) и 50 и более % пироксенов (силикатов магния и железа). Базальты в условиях поверхности Земли неустойчивы, поэтому содержат ряд вторичных минералов (эпидот, кальцит, хлорит и др.).

Наиболее устойчивым из всех выше перечисленных минералов является кварц (SiO_2). В гранитах на его долю приходится почти половина всего минерального состава (а иногда и более половины); в базальтах он отсутствует. Более устойчивы и плагиоклазы гранитов. Эти факты свидетельствуют о том, что термодинамически более вероятно образование гранитов за счет переработки базальтового вещества, а не наоборот.

Исходя из вышеизложенного, приходим к однозначному выводу, что гранитный слой земной коры является вторичным по отно-

шению к базальтовому слою. Если вспомним ранее приведенные представления о трехслойном строении коры континентального типа и двухслойном океанического типа, т.е. об отсутствии гранитного слоя под океанами (за исключением окраин материков и островных дуг), то из вывода о вторичности гранитного слоя следует, что первоначально земная кора была представлена исключительно базальтовым слоем, следовательно, в далеком геологическом прошлом не могли существовать и материки. Крупные участки суши (материки) устойчиво существовать начали только с появлением более или менее мощного гранитного слоя, который, вероятно, начал формироваться под древними островными дугами (геосинклиналями). Естественно, и в те далекие времена действовали вулканы (или их группы). Однако вулканические постройки могли периодически уничтожаться процессами декудации, а также за счет опускания морского дна погружаться под уровень океана. Кроме того, они весьма неблагоприятны для существования и развития жизни (лавовые потоки, выбросы пепловых туч, ядовитых газов и т.п.).

Косвенным подтверждением первоначального формирования гранитного слоя под древними островными дугами является тот установленный факт, что именно под ними мощность земной коры занимает промежуточное положение (между континентальной и океанической), а гранитный слой постепенно переходит в базальтовый.

В настоящее время более или менее точно установлено, что при возрасте земли около 4,5-5,0 млрд лет (по другим оценкам 6,5-7,0 млрд лет) жизнь на ней зародилась не ранее 3,5-3,7 млрд лет назад. До последнего времени не было вразумительного ответа на вопрос: почему по крайней мере в течение 1,5-2 млрд лет на Земле жизни не было, а потом вдруг появились бактерии и водоросли? Что же произошло «вдруг»?

Из вышеизложенного вытекает, что в те далекие времена жизнь и не могла возникнуть. Одна из причин этого — наличие сплошной водной оболочки (есть и противоположные точки зрения, о чем будет сказано ниже) и густой первичной углекислой атмосферы. За несколько миллиардов лет были сформированы крупные «линзы» гранитного слоя, что обеспечило устойчивое существование праматериков. При гранитизации базальтов высвобождавшийся кальций связывал значительное количество CO_2 атмосферы. Появились мелководья, благоприятные для зарождения простейших организмов. Конвейер жизни заработал.

Таким образом, в соответствии с нашими воззрениями именно направленное развитие литосферы как субстрата биосферы является определяющей причиной направленности эволюции жизни на Земле.

В настоящее время в геотектонике господствующее положение занимает концепция так называемой «*новой глобальной тектоники*»

или «*тектоники плит*». Основные положения этой концепции сводятся к следующему.

Авторы концепции (Б.Изакс, Дж.Оливер, Л.Сайкс, К.Ле Пижон, В.Морган, Г.Хесс, Р.Дитц и др.) считают, что литосфера состоит из крупных жестких и монокристаллических плит, которые как бы плавают на вязкой и пластичной оболочке — *астеносфере*, которая приурочена к верхней мантии земли. Литосферные плиты испытывают смещения трех типов. Первый тип — *раздвиг* или *спрединг* происходит в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов (о них подробнее см. в следующем подразделе). Второй тип — *сжатие*; оно приурочено к так называемым *зонам Заварицкого-Беньофа* — глубоководным желобам окраинных частей океана вдоль глубинных разломов, к которым тяготеют гипоцентры глубоководных землетрясений; в этих зонах происходит подвигание плиты под плиту и поглощение нижней плиты веществом мантии (*субдукция*). Третий вид — *сдвиг*, который происходит вдоль трансформных разломов плит. В соответствии с тремя типами смещений литосферных плит выделяют три типа их границ: *дивергентные* (разрастания), *деструктивные* (поглощающие) и *трансформные* (скользящие).

В зонах спрединга рождается новая океаническая кора. При столкновении материковых и океанических литосферных плит происходит складкообразование и растут горы.

Рассмотренная (весьма реферативно) концепция «тектоники плит» достаточно хорошо объясняет ряд наблюдаемых фактов, в то же время оставляя нерешенными такие проблемы, как происхождение океанических впадин, возраст океанов и материков, закономерности их развития, имеющие непосредственное отношение к эволюции жизни на Земле.

Выше мы уже высказали свою точку зрения о первичности океанов по отношению к материкам. Ниже вкратце остановимся на этой и других точках зрения по данному вопросу.

Все современные представления о формировании крупных тектонических структур Земли (океанических впадин и материков) могут быть сведены в три группы гипотез: первичности образования океанов, одновременности образования океанов и материков и вторичности океанов.

Гипотеза первичности океанов нами обоснована выше. Близкие взгляды высказывали многие исследователи (Кропоткин, 1961; Васильковский, 1964 и др.), поддерживавшие гипотезы необратимонаправленного развития земной коры; по их мнению, дифференциация вещества мантии Земли привела к выделению сначала (в догеологическую-океаническую стадию развития) только базальтового материала коры (*нуклеарная* стадия развития Земли). Затем наступила *геосинклинально-платформенная* стадия, продолжающаяся и в наше время. Она характеризуется ростом сиалической коры и

сокращением пространства океанических впадин, в которых продолжается наращивание базальтовой коры. По П.Н.Кропоткину, процесс дифференциации вещества Земли происходит необратимо, причем океанические структуры постепенно заменяются континентальными. О развитии суши в течение геологического времени свидетельствуют и другие факты: континентальный рельеф в настоящее время выражен резче, чем прежде; в ранние геологические эпохи имелись более обширные эпиконтинентальные моря и т.п.

Из этих фактов вытекают важные биологоэкологические выводы. Во-первых, с приближением к нашим дням создавались все более благоприятные условия для видообразования и существования жизни на суше. Во-вторых, более благоприятные условия для эволюции морской флоры и фауны существовали в геологическом прошлом Земли.

Многие геофизики (Bullard, 1954; Магницкий, 1958; Люстих, 1962 и др.) отрицают обратный процесс — базальтизации материковой коры. По их мнению, более легкая материковая кора не может утонуть в субстрате, так как это противоречит основному принципу *изостазии* (так, например, айсберг не может утонуть в морской воде). Кроме того, легкое вещество коры при его растворении или погружении в мантию проявилось бы в отрицательных или пониженных гравитационных аномалиях, чего на самом деле не наблюдается.

В.В.Белоусов (1962) также считает, что на ранней стадии развития Земли большая часть ее поверхности не была расчленена на материки и океаны; возможно, существовало множество прогибов и поднятий, более или менее равномерно распределенных на поверхности Земли.

Из гипотезы первичности океанов по отношению к материкам вытекает следующая схема эволюции жизни на Земле (табл.3.5).

Таблица 3.5

Эволюция жизни на Земле в связи со становлением и развитием структур земной коры

Стадия развития Земли	Становление и развитие океанических впадин и материков	Эволюция жизни
1. Догеологическая 2. Геологическая	1. Существование сплошной океанической оболочки 2. Зарождение материков 3. Развитие материковых структур 4. Широкое распространение неглубоких эпиконтинентальных и внутриконтинентальных морей 5. Углубление морей и океанов	Отсутствие жизни Появление водорослей и автотрофных бактерий Появление и развитие основных типов морских организмов Развитие пресноводных организмов; выход жизни на сушу Появление глубоководной фауны

Согласно другой точке зрения (*Schuchert*, 1935; Вернадский, 1933 и др.) континенты и океаны являются первозданными структурными элементами земной коры. Эти взгляды как будто подтверждаются планетологическими исследованиями, в соответствии с результатами которых на внутренних планетах Солнечной системы и Луне установлены структуры типа «морей» и «материков», а также отсутствием на континентах глубоководных (абиссальных) отложений (такие отложения небольшой мощности известны только на некоторых островах в зоне альпийской складчатости, например, на Барбадосе и Яве).

Третья точка зрения допускает вторичность океанической коры и океанических впадин. Так, В.В. Белоусов считает, что сначала формировалась сплошная материковая кора, а затем она преобразовалась в океаническую. Он же и другие авторы отмечают, что в мезозое и кайнозое проявилась тенденция роста океанов за счет материков (распад Северного материка Лавразии и южного — Гондваны). Однако выше нами было показано, что базальтизация гранитных пород — процесс маловероятный и не подтверждается балансовыми геохимическими расчетами.

Пожалуй, самым сильным аргументом в пользу «молодости» океанов являются относительно небольшие мощности в них осадочных отложений и их фанерозойский возраст. Так, изучение глубоководных осадков методом сейсмического отраженного профилирования показало, что в Североамериканском, Аргентинском и других бассейнах Атлантики их мощность варьирует от 2 до 3 км, в то время как в Тихом и Индийском океанах она менее 50-100 м. Возраст Атлантического, Индийского и Северного Ледовитого океанов приблизительно датируется как послепалеозойской. Молодой возраст Тихого океана подтвержден результатами бурения с американского судна «Гломар Челленджер», согласно которым возраст осадочных пород, лежащих на базальтовом слое, не древнее позднеюрского. Однако при этом необходимо учесть, что, по данным океанологических исследований, только на дне Тихого океана действует около 10 тысяч подводных вулканов; это почти в 20 раз больше по сравнению с количеством действующих вулканов на суше (всего 540). Естественно, что продукты извержений могли полностью ассимилировать маломощные более древние осадочные отложения этого океана.

В то же время практически бесспорным является вывод о том, что в соответствии с теорией изостазии, глубины морей и океанов зависели от площади и высоты материков. С этих позиций древние морские и океанические водоемы были более мелководными, т.е. более благоприятными для расселения и эволюции в них морских организмов. Имеется множество подтверждений этому.

Так, докембрийские *джеспилиты* (железистые кварциты Кривого Рога, Курской магнитной аномалии и др. районов) считаются образованиями мелких, очень опресненных бассейнов близ суши с равнинным рельефом (отсутствует примесь терригенного материала). Такое происхождение железистых пород докембрия подтверждается наличием в них косослоистых и линзовиднослоистых серий, а также волноприбойных знаков и даже трещин усыхания (Гершойг, 1965; Кулиш, 1965 и др.).

Л.Б.Рухин (1959) отмечает, что в мезозойское время геосинклинальные бассейны менее контрастно отличались от платформенных морей (о геосинклиналях и платформах подробнее см. в подразделе 3.3) шельфа, чем в настоящее время; лишь некоторые геосинклинали (Тетис, Индонезийские моря) характеризовались глубинами в несколько тысяч метров. В верхнем палеозое встречаются отложения, образовавшиеся на глубине около 1000 м (мощные рифовые массивы, значительно возвышающиеся над прилегающими участками дна); в нижнем же палеозое такие образования неизвестны, зато широко распространены мелководные глинистые отложения с граптолитами. Похоже было и дно древних платформенных морей, что обусловило постоянство состава отложений на значительных площадях. На преобладание в палеозое сравнительно неглубоких эпиконтинентальных и внутриконтинентальных бассейнов, возможно, указывает широкое распространение по площади и огромные мощности *галогенных* (соленосных) формаций. В мезокайнозойское уже не наблюдалось подобного развития *галогенеза*, хотя в отдельные периоды (например, в триасе) климат был жарким и засушливым.

По методу аналогии рассчитано, что средняя высота Гондваны (по названию княжества Гонд в Индии) составляла около 1000 м над уровнем океана. Ее распад на Австралию, Антарктиду, Индостан, Африку и Южную Америку мог резко понизить среднюю глубину океанов и несомненно способствовал формированию обширных неглубоких эпиконтинентальных и внутриконтинентальных бассейнов. При этом размеры собственно суши должны были резко уменьшиться, так как за счет поднятия дна океана происходили *трансгрессии* (наступление моря на сушу) огромных масштабов.

Опускание громадных участков дна Тихого океана отмечено в неоген-четвертичное время, что находит подтверждение в активно растущих вверх многочисленных коралловых островах, а также в плосковершинных вулканах — *гайотах*, обнаруживаемых на больших глубинах (плоскость вершин указывает на то, что они срезаны океаническим прибоем).

В связи с вышеизложенным определенный интерес представляет происхождение глубоководной фауны.

В известной своей монографии Л.Б.Рухин пишет: «имеющиеся геологические данные как будто свидетельствуют о том, что глубоководные бассейны как широко распространенная форма рельефа морского дна появляются лишь в верхнем палеозое» (1962, стр.507). Он указывает, что с этим предположением согласуется возраст современной глубоководной фауны. При этом Л.Б.Рухин ссылается на работу Л.А.Зенкевича (1949), который основываясь на том, что в современной глубоководной фауне присутствуют эндемичные семейства и классы, определил давность их возникновения в несколько сотен миллионов лет, т.е. глубоководная фауна начала формироваться примерно с палеозоя.

В заключение данного подраздела отметим, что именно Л.Б.Рухин, пожалуй, наиболее точно выразил существующую связь между развитием океанов и материков и эволюцией живых организмов: «если в истории морских организмов отчетливо выражено частичное приспособление древней мелководной фауны к обитанию в относительно глубоководных условиях благодаря резкому сокращению площади мелководья, то на суше, наоборот, наблюдается явная тенденция к освоению организмами все более возвышенных и удаленных от моря пространств» (1962, стр.523).

3.3. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ПРОЦЕССОВ ГОРООБРАЗОВАНИЯ

Одной из неразработанных и, пожалуй, даже неосознанных проблем экологии является установление взаимосвязи между развитием жизни на Земле и процессами горообразования.

В целом было известно давно, что горообразование приводит к повышению «среднего» уровня материков, следовательно, влияет на климат и другие природные факторы. Однако применительно к экологии это обстоятельство конкретики, не имело, хотя предпосылки для этого были.

Так, известно, что в условиях островной (и даже материковой) изоляции возникают и сохраняются специфические формы жизни и даже ветви ее эволюции (Австралия, Галапагосские острова, Канары и т.п.). А что такое острова или островные дуги? В основном это нарастающие со дна океана вулканы или начальная стадия зарождения будущих гималаев (в геологии такие зародыши горных систем принято называть «*кордильерами*»).

В этом плане примечательна закономерность, установленная еще исследованиями Н.И.Вавилова, который в одной из своих работ писал: «Главным мировым фокусом, вобравшим в себя поразительное многообразие форм культурных пшениц, оказалась маленькая горная Абиссиния... Вторым мировым очагом формообразования

пшениц является пространственно весьма ограниченная область, примыкающая к южному подножью Восточного Гиндукушья и Западных Гималаев».

Следовательно, можно предположить, что локальные участки изоляции, которые создают горные системы, способствуют сохранению направленных мутаций, формирующих генофонд, и препятствуют их «растворению» в общей массе какого-либо вида. В этом аспекте можно согласиться с В.М.Мужачевым (1975), который горы назвал «фабриками мутаций».

Возможны и другие объяснения этого интересного природного явления (усиление облучения организмов с высотой, структурные особенности талой ледниковой воды, ее изотопный состав и т.п.; не зря Дюбуа назвал жизнь «одушевленной водой»).

Но это в принципе ничего не меняет: влияние гор на эволюцию видов — факт бесспорный. Поэтому ниже мы попытаемся показать, как именно эволюция жизни связана с конкретными горообразовательными процессами.

Сначала вернемся к тому, что подметил Н.И.Вавилов — к горам Абиссинии, Гиндукушу и Гималаям. Это преимущественно молодые горы, относимые геологами к последнему этапу горообразования — альпийскому. Такие же молодые горы — южно-американские Анды. Не потому ли именно отсюда пришли к нам картофель, томаты и другие культуры?

В предыдущем разделе мы уже приводили геохронологическую шкалу (см.табл.2.2). Однако в ней не были отражены эпохи горообразования. Ниже попытаемся найти логическую связь между этой шкалой и процессами горообразования.

Всего в истории развития земной коры выделяют десять эпох горообразования (или *тектогенеза*): саамскую, беломорскую, карельскую, сатпурскую, байкальскую, каледонскую, герцинскую, мезозойскую, альпийскую и тихоокеанскую (Ершов и др., 1986). Первые четыре эпохи завершились к началу позднего протерозоя. Эпоха байкальской складчатости продолжалась от середины протерозоя до начала кембрийского периода, каледонской от позднего протерозоя — до силура (местами до девона). Мощные герцинские горные сооружения начались формироваться с ордовика-девона и прослеживаются вплоть до позднего триаса. Продолжительность мезозойской эпохи горообразования — с конца палеозоя до позднего мела. Последние две эпохи (иногда объединяемые в одну — южно-альпийскую) начали проявляться в перми и продолжаются по сей день.

Уже само перечисление эпох тектогенеза, времени их проявления и сопоставление с границами геологических эр наводит на серьезные размышления. Так, конец герцинской складчатости (по-

здний триас) удивительным образом совпадает с коренными изменениями в органическом мире (вымерло около 9/10 палеозойских видов) на границе палеозой-триас, что привело к расцвету мезозойской флоры и фауны. Мезозойская складчатость завершилась в конце верхнемеловой эпохи. И опять это событие практически совпадает с началом кайнозойской эры (эры «новой» жизни). Сложнее дело обстоит с более древними эпохами тектогенеза; возможно, по той причине, что жизнь на сушу вышла только в палеозое, а на водные организмы горообразование (даже подводное) отражалось гораздо слабее.

Однако при этом следует учесть, что именно горообразовательные движения могли существенно влиять на размеры суши. Возможно, в архее и раннем протерозое суша вообще не существовала или имела весьма незначительные размеры. В таком случае можно утверждать, что именно горообразовательные движения, способствовавшие появлению и консолидации континентов, и явились глобальной причиной или, точнее, глобальным условием появления наземной фауны и флоры (см. предыдущий подраздел).

При этом необходимо учитывать то обстоятельство, что горные сооружения, как правило, возникают на месте *геосинклиналей*. При этом под геосинклиналями понимают обширные линейные области земной коры весьма высокой мобильности (подвижности) и проницаемости с многообразными тектоническими движениями, магматизмом и высокой сейсмичностью.

В развитии геосинклиналей можно выделить несколько стадий. Первая стадия (собственно геосинклинальная) характеризуется тем, что отдельные линейные участки начинают испытывать интенсивное прогибание, которое затем распространяется вширь. Образующиеся при этом глубинные разломы активизируют магматизм, что порождает возникновение цепей вулканов. Прогибы постепенно заполняются мощными толщами осадочных и вулканических горных пород. Длительность первой стадии может составлять несколько геологических периодов или даже более одной эры. Это — океаническая (морская) стадия. Вторая стадия (или *стадия инверсии*) в целом характеризуется заменой погружений на поднятия; как принято говорить в геологии, вместо геосинклинали формируется *геоантиклиналь*. Рельеф сначала имеет островной характер, однако прогибы, в которых сохраняются моря, постепенно заполняются осадками различного происхождения (морскими, лагунными, угленосными и т.п.). Поднимающиеся толщи горных пород, нередко мощностью 10-15 км, подвергаются деформациям (образование складок, надвиговых разрывов), в них активно протекают процессы магматизма (в основном кислого) и метаморфизма (вплоть до гра-

нитизации пород). Длительность этой стадии, по сравнению с предыдущей, невелика и обычно ограничивается несколькими *фазами складчатости* (в пределах одной эпохи тектогенеза). Третья, заключительная стадия (*орогенная* или *горообразующая*) начинается с общего воздымания области и практически полного вытеснения с ее территории моря. Растут так называемые *глыбовые горы*, активизируются вулканизм и сейсмические явления. Геосинклинальная область превращается в высокогорную страну. Процессы денудации гор приводят к тому, что в условиях суши в межгорных впадинах и прогибах формируются мощные толщи (до 10 км и более) грубообломочных континентальных отложений. Денудация постепенно снижает высоту гор, превращая их в средне- и низкогорья и, наконец, в равнинно-холмистую складчатую страну. Геосинклинальное развитие отдельных участков земной коры может повторяться несколько раз (явление цикличности). Принципиальная схема эволюции геосинклиналией представлена на рис. 3.2.

В конце концов геосинклинали полностью теряют свои свойства и становятся жесткими малоподвижными и малоактивными глыбами — *платформами*. Главной особенностью платформ является их двухъярусное строение. Нижний ярус (этаж), именуемый *кристаллическим фундаментом*, представляет собой эродированное складчатое сооружение, возникшее в геосинклинальный этап развития. Верхний ярус (платформенный чехол) формируется в постгеосинклинальный этап развития данной области и представлен пологозалегающими и почти недеформированными осадочными и вулканическими породами (роль последних с течением времени падает).

Какие экологические следствия вытекают из нарисованной выше картины? Они могут быть сведены к следующим общим выводам. На первой стадии геосинклинального развития могли возникать изолированные и полуизолированные морские водоемы, в которых создавались условия для устойчивого закрепления мутаций и появления новых видов, которые впоследствии распространялись на значительно более обширные площади, вытесняя менее эволюционировавшие виды. Такая картина развития подтверждается многочисленными палеонтологическими данными. На стадии инверсии первоначально возникали островные дуги, что способствовало появлению на суше многочисленных эндемических видов, которые при дальнейшем росте кордильер вступили в конкурентную борьбу. На третьей, орогенной стадии, могут возникнуть своеобразные «мосты» (таковые, например, существовали в свое время между Америкой и Азией, Австралией, Индонезией и Юго-восточной Азией и т.п.), по которым происходит интенсивное расселение видов, особенно животных организмов, в том числе и человека. Возникновение высоко-

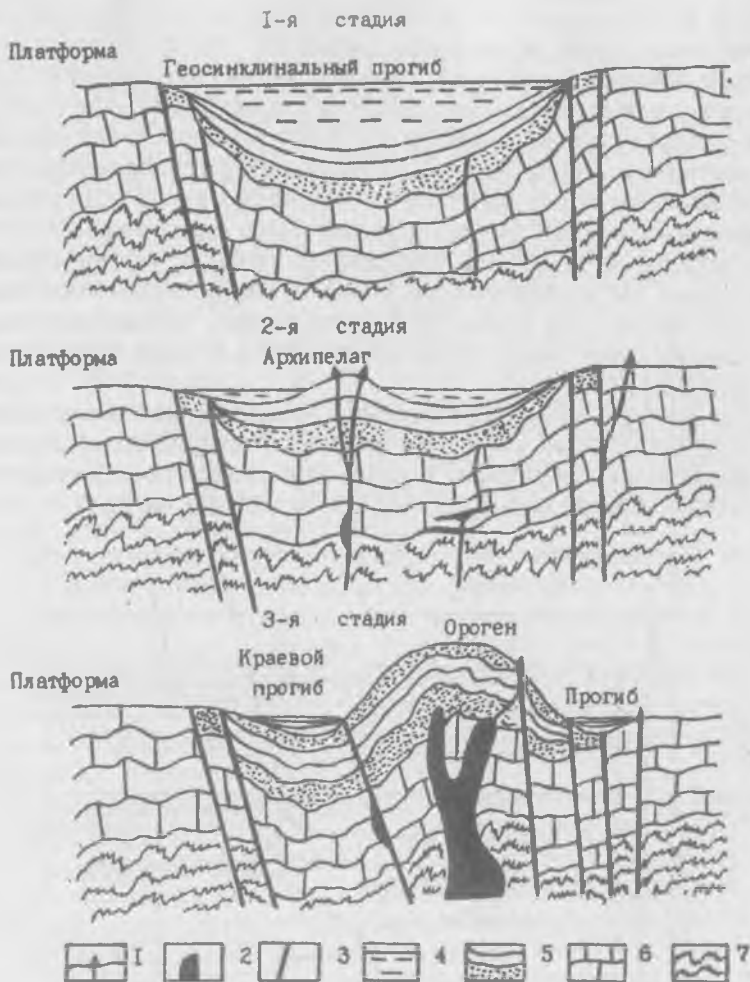


Рис. 3.2. Схема развития геосинклиналей:

- 1—вулканы; 2—интрузии магматических пород; 3—разломы; 4—морская вода;
5, 6—осадочно-вулканогенные породы различных генераций;
7—породы кристаллического фундамента

горий опять создает очаги изоляции, благоприятные для видообразования. Денудационное уничтожение гор и возникновение огромных по размерам платформ (типа Восточно-Европейской или Русской, Сибирской и др.) способствуют широкому расселению флоры и фауны. Следует подчеркнуть, что изменение площади суши,

ее высоты над уровнем моря, взаимосвязей между отдельными участками суши прямо и косвенно влияет на целый комплекс экологических факторов: меняются глубины морей, направления течений и ветров, количество поглощенной и отраженной солнечной радиации, распределение осадков и т.п. Влияние перечисленных факторов настолько существенно, что высказываются предположения о существовании в истории Земли периодов, когда климатические условия практически на всех широтах были однородными. Об этом свидетельствует, например, нахождение углей на Шпицбергене и в Антарктиде. Но климатические условия могли быть и более контрастными, чем в наше время. Это подтверждает нахождение мощных ископаемых морен (ледниковых отложений) в Южной Африке, Индии и Австралии.

Изложенные выше представления схематически показаны на рис. 3.3. При построении схемы мы отбросили второстепенные признаки, явления и их следствия. В итоге оказалось, что стадийность тектогенеза определяет цикличность эволюции на Земле.



Рис. 3.3. Влияние тектогенеза на эволюцию жизни на Земле

Хотелось бы обратить внимание еще на одно обстоятельство. Выше вкратце мы уже коснулись тех причин, которые обуславливают интенсивное видообразование в условиях высокогорий. Здесь же мы

рассмотрим еще одну причину, которая, на наш взгляд, только усиливает ранее сделанные выводы.

Речь идет о вертикальной (высотной) зональности, т.е. смене физико-географических комплексов (растительности, животного мира, почв и т.п.) с подъемом от уровня моря до горных вершин, что связано, прежде всего с изменением теплового баланса (средний вертикальный градиент температуры воздуха $0,6^{\circ}\text{C}$ на 100 м подъема).

Если в условиях равнин расстояние, например, от пояса степей до границы тайги с тундрой измеряется сотнями и тысячами километров, то в горных районах подобные расстояния сокращаются от первых сотен метров до 2-3 километров. «Дальние родственники» одного и того же вида, обитающие близ противоположных границ, на равнинах практически не могут встретиться друг с другом из-за огромных расстояний, их разделяющих. В горных районах их встреча облегчена близкими расстояниями между поясными границами, что ускоряет процесс естественного отбора и появление более прогрессивных форм за счет скрещивания.

Следует отметить, что горные хребты известны и на дне океанов, хотя их природа иная, чем орогенов суши (предполагают, что они возникли в результате растяжения литосферы). Наиболее крупными являются срединные хребты Северного Ледовитого, Атлантического и Индийского океанов. Они воздымаются над дном до 3,5-4,0 км при ширине от 80 до 200 км. Вдоль осей хребтов тянутся цепи узких и глубоких грабен с почти отвесными склонами. Это так называемые *рифтовые зоны*.

Такие подводные хребты в геологическом прошлом Земли могли служить препятствием для расселения морских организмов. Кроме того, опускание или поднятие горных хребтов изменяет емкость океанов. К.К.Марков (1960) приводит следующие примеры. Если движения земной коры «закроют» глубоководные (глубиной более 6000 м) впадины океана, то уровень последнего поднимется на 89 м; поднятие Срединно-Атлантического хребта вызвало бы повышение уровня океана на 42 м; образование впадины Средиземного моря понизило бы уровень океана на 12 м.

Столь существенные колебания уровня Мирового океана являются настоящей экологической катастрофой, прежде всего, для фауны и флоры, обитающей на обширных прибрежных равнинах, а также для морских жителей литоральной и неритовой зон.

Такие колебания уровня океана называют *геократическими*. Но могут быть и иные причины, например, таяние ледников. Подсчитано, что только расплавление льда Гренландии повысило бы уровень

океана на 9 м. Расплавление льдов Антарктиды подняло бы уровень океана на 56 м. Такие колебания уровня океана именуется *гидрократическими*.

Объем льдов максимального четвертичного оледенения составил около 57-60 млн км³. Накопление столь огромных масс льда на суше понизило уровень океана примерно на 120 м. В результате оказались осушенными значительные площади Баренцова моря, Британские острова соединились с континентом и т.п. В настоящее время на дне Северного моря и Ла-Манша можно наблюдать продолжение русел Темзы, Сены и других рек.

3.4. ТЕКТОГЕНЕЗ, КЛИМАТЫ ПРОШЛОГО И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭВОЛЮЦИЮ ЖИЗНИ

Важнейшей составляющей биотопа (экотопа) является климатотоп. Ниже в сжатой форме попытаемся показать связь климатов прошлого с литосферными процессами, с одной стороны, и с эволюцией жизни, с другой.

К.Брукс (1952) перечисляет следующие факторы, обуславливающие изменения климата на Земле: космические, астрономические, солнечную радиацию, *земное тепло, колебательные (вертикальные) движения земной коры, перемещение полюсов и дрейф континентов, распределение суши и моря*, океанические течения, изменение состава атмосферы, *вулканическую пыль*, изменение циркуляции атмосферы.

Из 11 факторов, по крайней мере, пять непосредственно связаны с литосферой и тектогенезом (эти факторы нами выделены). Не вызывает сомнения, что косвенно с ними связаны и другие «земные» факторы (океанические течения, атмосферная циркуляция и т.п.). Таким образом, уже в теоретическом плане тектогенез и развитие литосферы являются существенной причиной изменений климатов в геологическом прошлом Земли, и, следовательно, тем холстом на мольберте Природы, на котором некий Великий художник рисует картину жизни.

Н.М.Страхов (1963) считает, что в течение всего кайнозоя, а также в течение мела и юры на поверхности Земли достоверно существовали те же климатические зоны, что и теперь, и даже очертания их отличались от современных лишь в деталях. По его мнению, это может означать только одно: что характер циркуляции атмосферы в течение последних 250 миллионов лет был весьма близок современной циркуляции.

Если это так, то причину вымирания мезозойских видов и появления кайнозойской фауны и флоры следует искать не в резких изменениях климата, а в проявлении каких-то других факторов.

Правда, уже упоминавшийся выше К.Брукс придерживается другого мнения о климатах мезозоя и кайнозоя. По его данным, средняя вычисленная температура области в пределах 40-90° северной широты при переходе от верхнего мела к палеоцену (нижнему палеогену) повысилась с 3,9 до 8,9°C, а на границе миоцен-плиоцен опять произошел скачок (понижение температуры до 0,6°C).

В палеозое, по данным Н.М.Страхова, климатические зоны были значительно смещены в пространстве относительно современных, особенно в девоне, силуре и ордовике. Однако несмотря на такую смещенность, все же на всех палеоклиматических картах тех эпох неизменно устанавливается северная и южная аридные зоны и разделяющая их тропическая влажная. Вне аридных зон на более высоких тогдашних широтах обозначаются умеренные влажные зоны, а на совсем высоких широтах временами появляются следы обширно развитых ледниковых отложений (в перми, кембрии). При этом вся картина палеозойской палеоклиматической зональности выглядит так, как будто экватор вместе со всеми климатическими поясами был повернут около некоторой оси — в верхнем палеозое, приблизительно на 40-45° относительно их современного нахождения, а в нижнем палеозое — даже на 70-75°.

К.Брукс этот «поворот» рассматривает в рамках теории *континентального дрейфа*, по крайней мере, относительно распределения климатических зон в верхнекаменноугольную эпоху.

Л.Б.Рухин (1962) причиной несовпадения древних и современных климатических зон считает изменение расположения оси вращения Земли (*миграцию полюсов*). Палеоклиматические идеи этого автора сводятся к следующему.

Перемещения полюсов обусловлены поднятиями и опусканиями обширных участков земной коры, а также изменениями плотности подкоровых масс. Важным климатическим фактором является рельеф поверхности Земли в районе полюсов. Если полюса располагались на суше, это влекло образование около них полярных ледников, не спускавшихся, однако, в низкие широты. При расположении полюсов в открытом океане около них не появлялось значительного количества льда из-за энергичного водообмена. Наибольшие же изменения климата наблюдались в тех случаях, когда полюса находились в пределах бассейнов, отчлененных от океана. Эти бассейны покрывались льдом и превращались в мощные холодильники, влияние которых сказывалось и в низких широтах. Если к перемычкам, ограничивающим такие бассейны, поступали тепловые течения, приносившие массы влажного воздуха, то это влекло появление центров оледенения, расположенных в низких широтах. В этом причина четвертичного оледенения северного полушария и верхнепалеозойского оледенения южных материков.

Связь эпох оледенений и горообразований опосредована тем, что последние обуславливают поднятия обширных участков морского дна (подводных возвышенностей), отчленяющих приполярные бассейны от открытого моря.

В начальные этапы геологической истории Земли ввиду отсутствия значительных участков суши, вероятнее всего, преобладали климаты морского влажного (гумидного) типа.

На это обстоятельство указывает и Н.М.Страхов. Он пишет, что отсутствие крупных платформенных массивов и резко увеличенные дозы радиогенного тепла, поступившего снизу, исключали в первые моменты истории Земли дифференциацию климатических типов литогенеза, в частности, обособление ледового и аридного типов. Однако к началу палеозоя они уже были сформированы, а с конца триаса их географическое размещение приобрело те же черты, что и в современности.

Завершая данный подраздел, напомним, что под климатом понимается многолетний режим погоды, определяемый географической широтой местности, высотой над уровнем моря, удаленностью местности от океана, рельефом суши, характером подстилающей поверхности и некоторыми другими факторами. В экологии климат выступает в качестве климатотопы (климатопа), представляющего собой сочетание физических характеристик воздушной и водной сред, существенных для населяющих эту среду организмов (или их сообществ).

Исходя из вышеизложенного, связь палеоклиматов с эволюцией жизни на Земле может быть сформулирована в виде следующих положений.

1. Палеоклиматы являются опосредованным связующим звеном между тектогенезом и эволюцией живых организмов. Именно тектонические движения, определяющие перераспределение суши и моря, изменение их рельефа, затухание старых и появление новых мощных морских течений, являются причиной разнообразия климатов как в настоящем, так и в прошлом Земли, а через них, в значительной мере, и разнообразия форм жизни.

2. Эволюция климатов в истории Земли происходит в направлении их усложнения, увеличения разнообразия. Дифференциация климатов сопровождается все возрастающей дифференциацией форм жизни. Так, если к началу палеозоя уже были сформированы основные типы климатов (морской и континентальный; гумидный, аридный и ледовый), то к тому же времени уже существовали практически все основные типы морских организмов (простейшие, черви, мшанки, моллюски и др.) и появились простейшие наземные растения (псилофиты).

3. Исключительное значение для эволюции жизни имело перемещение климатических зон. Организмы, не сумевшие быстро приспособиться к новым климатическим условиям, вымирали (возможно, в этом одна из причин исчезновения гигантских пресмыкающихся и мамонтов). Другие организмы перемещались вслед за климатическими зонами, т.е. в данном случае климат выступает в качестве фактора миграции и расселения организмов на новых территориях. Наконец, в силу того, что многие организмы, особенно растения, не способны к существенным перемещениям за короткое время, ускоряется процесс видообразования; появляются новые виды, наилучшим образом приспособленные к изменившимся климатическим условиям.

3.5. ЭВОЛЮЦИЯ КОСМОСА, КОСМОЗОЙСКИЕ ЭРЫ

Может показаться странным, что рассмотрение эволюционных процессов, связанных с возникновением, развитием и условиями существования жизни, мы начали с земной коры, а не с Космоса (Вселенной). На самом деле ничего странного в этом нет, так как наиболее достоверные данные мы имеем именно по литосфере, а наши знания о Космосе, тем более, его эволюции, в значительной мере гипотетичны.

С другой стороны, не вызывает сомнения, что именно Космос, его развитие накладывают самые жесткие ограничения на органическую жизнь. Аналогичные, не менее жесткие ограничения накладывают эволюция Солнечной системы, Земли как планеты, а также ее оболочек. Именно поэтому возникновение и развитие жизни на Земле мы склонны рассматривать как процесс, детерминированный иерархией абиотических структур (в литературе иногда именуемый «*эволюцией эволюций*»).

В настоящее время многие ученые считают, что Вселенная находится в нестационарном состоянии, постоянно расширяясь после *Большого Взрыва*. Основным доказательством такой картины мира являются спектры внегалактических звездных систем, показывающие смещение спектральных линий по направлению к красному концу спектра, причем это «*красное смещение*» приблизительно пропорционально расстоянию этих систем от нашей Галактики Млечного Пути. Считается, что оно связано с *эффектом Доплера*, вызванным удалением звездных систем после *Большого Взрыва* с субсветовыми скоростями. Правда, некоторые ученые «красное смещение» объясняют потерей фотонами энергии при прохождении ими огромных расстояний космического пространства. Как справедливо отмечает в своем известном учебнике по геохимии Б.Мейсон (1971), «основные положения расширяющейся вселенной остаются еще в

высшей степени спекулятивными; поэтому и заключения, основанные на этой теории, имеют спекулятивный характер» (стр.16).

К этому следует добавить, что картина расширяющейся Вселенной входит в определенное противоречие с современной физической теорией относительности. Напомним, что эта теория материю рассматривает в неразрывной связи с пространством и временем, которые, в свою очередь, также взаимосвязаны. Поэтому признание того, что Вселенная имеет начало и возникла практически из точки (очень малого объема), означает косвенное признание, что было «время», когда времени не было (а вместе с ним — и пространства). Видимо, гипотеза расширяющейся Вселенной имеет свои гносеологические корни, ибо человеку трудно смириться с понятием бесконечности и он всегда склонен искать начало чего-либо. В этом смысле Большой Взрыв ничуть не оригинальнее божественного акта творения Вселенной. Но что же было «до того» — до Большого Взрыва или акта творения?

Не вдаваясь в более глубокие дебри, все же признаем, что на сегодняшний день мы не имеем ничего более убедительного, чем гипотеза Большого Взрыва, поэтому в своих дальнейших построениях будем исходить именно из нее (посеяв в душах семена сомнений).

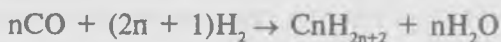
Исходя из общих предпосылок, можно высказать две конкурирующие точки зрения на происхождение жизни. Сущность первой точки зрения заключается в том, что жизнь рассматривается как сугубо земное явление, здесь она зародилась и преобрела все свое многообразие. Однако в настоящее время появляется все больше и больше подтверждений космогенного характера жизни.

Свидетельством того, что сложные органические вещества могут возникать в космических условиях, являются *углистые хондриты* (разновидность каменных метеоритов). По данным Г.Виика (1956), они содержат до 20,08% гидратной воды, до 6,2% сульфатной серы и до 3,52% углерода, причем большая его часть находится в виде органических соединений (что было установлено еще И.Берцелиусом в 1834 г.).

По данным Г.П.Вдовыкина (1967), А.П.Виноградова, Г.П.Виноградова (1971) и других авторов, органические соединения в углистых хондритах весьма сложные и представлены углеводородами, аминокислотами, многоядерными ароматическими соединениями и другими веществами. Возможным механизмом их образования последние два автора считают преимущественно радиохимические реакции, связанные с облучением метеоритного вещества ультрафиолетовыми лучами Солнца и космической радиацией.

Предполагается, что при температуре свыше 1000 К в первичной солнечной туманности преобладающим соединением была его моноокись СО, а при дальнейшем охлаждении — графит. При пониже-

нии температуры и наличии в туманности водорода значительное количество СО превращалось в углеводороды. По Дж.Ларимеру (1967) и другим авторам, катализатором при этом служили ранее выделившиеся (конденсировавшиеся) частицы железа и никеля, что резко ускорило *реакции типа Фишера-Тропша*:



Г.В.Войткевич и В.В.Закруткин (1976) обратили внимание на следующее обстоятельство: живое вещество нашей планеты по своему атомарному составу (если исключить He) несравненно ближе к химическому составу Космоса, чем все остальные ее части. Поэтому, по их мнению, при охлаждении первичной газовой туманности возникновение первичных органических соединений из ее главных компонентов H, C, O и N было совершенно неизбежным процессом.

Вообще говоря, для возникновения и существования жизни в Космосе необходимо соблюдение некоторых обязательных условий (мы их назвали *космическими ограничениями жизни*). Во-первых, в Космосе должны существовать химические элементы, из которых состоят живые вещества. Во-вторых, необходимы хотя бы локальные участки Космоса с температурой, благоприятной для образования сложных органических соединений; еще более жесткие температурные условия (примерно 225-325 К) для зарождения и существования жизни. В-третьих, необходима определенная плотность вещества (около 10^{21} молекул в 1 см^3 объема), которая обеспечивала бы возможность взаимодействия атомов и молекул между собой (с энергией взаимодействия порядка 100-1000 электронвольт, что характерно для энергетических связей белков и нуклеиновых кислот).

Согласно современным представлениям, первоначально Вселенная представляла собой сверхплотное и сверхгорячее образование, сосредоточенное в небольшом объеме. Однако где-то 15-20 млрд лет назад по непонятным пока причинам произошел Большой Взрыв, и Вселенная начала расширяться.

Такая модель расширяющейся Вселенной подтверждается, как отмечалось выше, прежде всего тем, что все видимые Галактики как бы убегают от нас в разные стороны. По *закону Хаббла*, чем дальше от нас источник излучения, с тем большей скоростью он удаляется от нас, следовательно, тем больше «красное смещение» в его спектре. Наиболее удаленные Галактики «разбегаются» со скоростью, близкой к скорости света. При этом, естественно уменьшается и плотность вещества вселенной. По современным данным, она составляет (в пересчете на атомы водорода) около $0,1 \text{ ат/м}^3$. Если учесть и скрытые массы типа «*черных дыр*», то она может быть увеличена до $0,2-1 \text{ ат/м}^3$ (в радиусе примерно 300-400 млн световых лет). Но все

равно это чрезвычайно мало по сравнению с той цифрой плотности, которую мы привели выше. Однако если учесть то обстоятельство, что первоначально плотность Вселенной была невообразимо высокой, то вполне понятно, что при эволюции от сверхплотного состояния до современной весьма низкой плотности наша Вселенная должна была пройти этап плотности, благоприятный для зарождения жизни.

Другим доказательством расширяющейся Вселенной является наличие *реликтового (фонового) излучения*.

В настоящее время все космическое пространство пронизано радиоволнами миллиметрового диапазона, распространяющимися равномерно по всем направлениям. Это не что иное как газ квантов электромагнитного излучения. Энергия, содержащаяся в нем, чрезвычайно высока: больше световой энергии, испущенной всеми звездами за время их существования. На каждый кубический сантиметр Вселенной приходится около 400 квантов излучения, а полное число квантов в видимой части Вселенной в несколько миллиардов раз больше полного числа частиц вещества (атомов, ядер, электронов), из которых состоят планеты, звезды и галактики.

Это и есть фоновое излучение Вселенной, которое (вслед за И.С. Шкловским) принято называть реликтовым. Оно представляет собой остаток (реликт) сверхплотного и сверхгорячего (с температурой миллиарды градусов и выше) состояния Вселенной в далеком прошлом, когда все вещество представляло собой дозвездную, догалактическую плазму, более или менее однородно перемешанную с газом квантов. Кванты электромагнитного излучения взаимодействовали с плазмой, рассеиваясь на электронах, и составляли вместе с ней единую среду, равномерно заполняющую Вселенную. Общее расширение Вселенной (после Большого Взрыва) охлаждало со временем плазму и кванты. Примерно через миллион лет после начала расширения температура среды упала до значения в несколько тысяч градусов, при которой электроны и ядра, разделенные до этого тепловым движением, стали объединяться, рекомбинировать и образовывать атомы, в том числе атомы углерода и других биогенных элементов, что создало первую предпосылку для зарождения жизни. При дальнейшем понижении температуры могли образоваться молекулы, в том числе и органические. И действительно, по спектрам далеких газовых туманностей астрофизики установили присутствие в них характерных линий весьма сложных органических соединений и радикалов.

После эпохи рекомбинации кванты уже не взаимодействовали с плазмой, испытывая лишь общее охлаждение, связанное с продолжающимся расширением Вселенной.

Картина горячего прошлого Вселенной разработана в конце 40-х годов Г.А.Гамовым на основе фридмановской теории космологического расширения. Он же предсказал и существование фона миллиметрового излучения, который открыли в 1964 г. А.Пензиас и Р.Вильсон, за что им была присуждена нобелевская премия.

Современная температура газа квантов составляет около 3 К. Можно принять, что она соответствует температуре космического пространства. Однако эта температура существенно ниже той, которая необходима для зарождения жизни.

Исходя из модели расширяющейся Вселенной, ее первоначальных и нынешних параметров, неизбежен вывод о том, что при охлаждении Вселенной от миллиардов градусов до 3 К существовал временной интервал, благоприятный по температурным условиям для возникновения и существования жизни. Этот временной интервал (этап) мы назвали *первым космозойским периодом*. Если такой период существовал, то можно с большей или меньшей уверенностью считать, что жизнь на планеты земного типа занесена из космического пространства. Главный вопрос, требующий ответа, таков: совпадали ли по времени оптимальные для жизни плотностные и температурные характеристики Вселенной? Возможны три варианта модели расширяющейся Вселенной (и, следовательно, столько же вариантов ответа на поставленный вопрос) в связи с предполагаемым существованием первого космозойского периода (рис.3.4).

В первом варианте оптимальная температура запаздывает по отношению к оптимальной плотности. Неблагоприятен также и второй вариант (достижение оптимальной плотности запаздывает по отношению к оптимальной температуре). Наиболее благоприятен третий вариант, в котором оптимальные температура и плотность хотя бы частично совпадают во времени.

Выше уже отмечалось, что после рекомбинации элементарных частиц в атомы, плазма и газ квантов перестали взаимодействовать друг с другом и дальше эволюционировали каждый по-своему. Если газ квантов до настоящего времени равномерно распределен во Вселенной, то вещество претерпело флуктуации, в результате чего в нем образовались неоднородности, породившие впоследствии туманности, звезды, галактики и скопления галактик.

Их образование весьма оригинально объясняет *вихревая теория* Вайцекера (*Weizsacker, 1944*). По мнению этого автора, первичная Вселенная (применительно к Большому Взрыву — Вселенная на определенном этапе расширения) состояла из газов, содержащих различные элементы, при этом скорость движения газового вещества в разных местах была разной. Вследствие этого возникали турбулентные токи и многочисленные вихри. Плотность газа возраста-

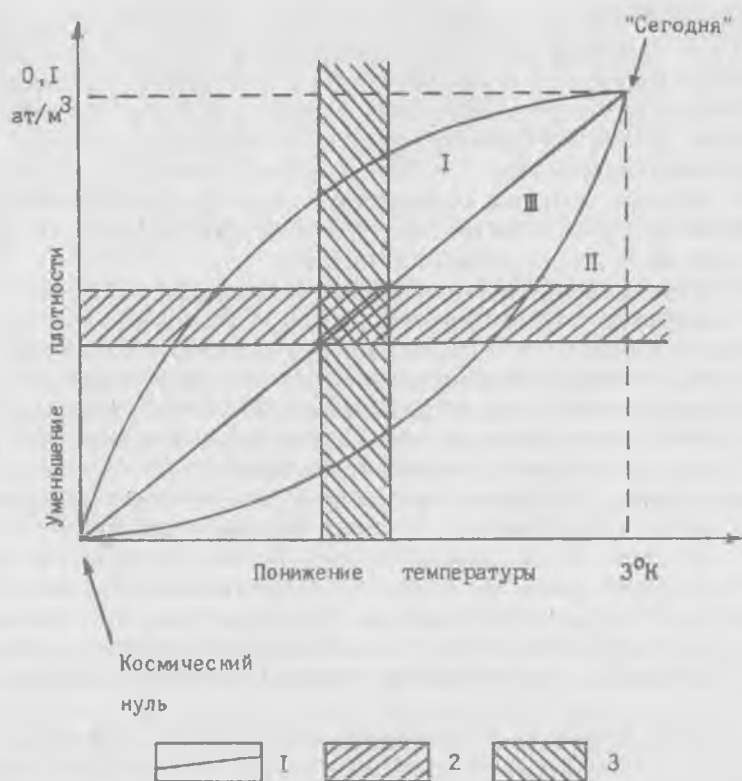


Рис. 3.4. Модель расширяющейся Вселенной в связи с возможностью существования первого космологического периода:

1—варианты эволюции Вселенной (I, II, III); 2—оптимальные для зарождения жизни температурные условия; 3—оптимальные плотностные условия

ла в направлении к центру каждого вихря, и в этих местах постепенно начиналась конденсация атомов. Таким образом, Вселенная распалась на множество вихрей, образовавших свои материнские туманности. Внутри каждой туманности существовали свои турбулентные токи, образовавшие материнские тела звездных скоплений, и, наконец, в каждом звездном скоплении возникли постоянные звезды и планеты.

Солнце является одной из возникших таким образом постоянных звезд. Вихревая теория предполагает, что на ранней стадии развития центральное светило было окружено быстро вращающейся газовой мантией с массой около 1/10 массы Солнца. Благодаря вра-

щению, мантия приобрела дисковидную форму. Внутри диска те же турбулентные токи привели к возникновению вихрей, вызвавших конденсацию газов и, соответственно, образование планет.

Температура внутри газовой мантии убывала обратно пропорционально квадрату расстояния от Солнца, следовательно, наиболее благоприятные условия для перенасыщения газового вещества и его конденсации существовали на периферии диска, вследствие более низкой температуры, и состоявшей из водорода, метана и аммиака. Интенсивная конденсация газов привела к образованию крупных, но менее плотных внешних планет (Юпитер, Сатурн и др.). Внутренние планеты (Марс, Земля и др.), имеющие меньшие размеры, но большую плотность, возникли в основном путем гравитационного захвата материала мантии.

Таким образом, в локальных участках расширяющейся Вселенной, например в газовых туманностях с центральной звездой (или без таковой), возникли участки повышенной плотности, нагреваемые излучением звезды (или за счет собственной кинетической энергии) до оптимальных для возникновения жизни температур. Временной интервал существования таких участков мы назвали *вторым космозойским периодом*. Прямых достоверных данных о реальном существовании этого периода мы не имеем. Правда, в последнее время в печати появились сообщения о якобы обнаруженных остатках простейших организмов и следах веществ белкового типа в метеоритах и образцах горных пород Марса.

Наконец, *третий космозойский период* связан с существованием планетарных систем, на которых создавались условия для возникновения жизни. Косвенным подтверждением автохтонного происхождения жизни на нашей планете является вещественное, биохимическое и генетическое подобие всех форм земных организмов — от простейших до самых высокоорганизованных.

Возникновение жизни на Земле некоторые авторы связывают с плавлением мантии и ее дегазацией. В результате этих процессов формировался базальтовый слой земной коры, первичный океан и первичная атмосфера.

Плавление и дегазация мантии по принципу зонной плавки приводило к излиянию базальтовой магмы, которая, по А.П. Виноградову, содержала в среднем около 7% воды (от излившейся массы базальтов). Одновременно на поверхность Земли поступали газы CH_4 , CO , CO_2 , NH_3 , S , H_2S , HCl , HF , H_2 и некоторые другие, составившие первичную атмосферу (на первом месте, вероятно, был CO_2). Между этими газами как в атмосфере, так и в первичной гидросфере происходили сложные химические реакции.

М. Дайгофф, Э. Липпинкотт и Р. Эк (1964) при многих комбинациях температуры и элементарного состава (H, C, O) вычислили

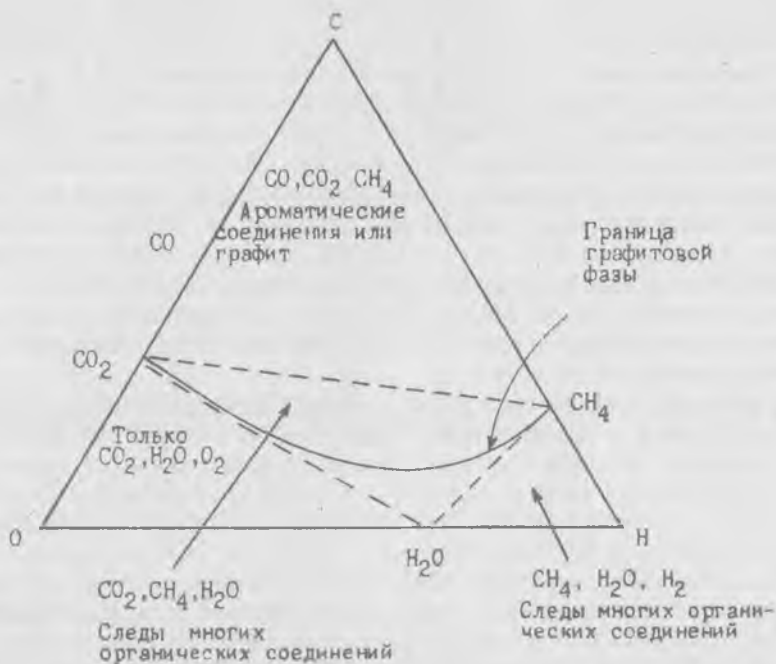


Рис.3.5. Тройная диаграмма термодинамически равновесной системы C-H-O:

Вершины диаграммы соответствуют 100%-ному содержанию элемента.

Выше жирной линии расположена область стабильного существования

графита при атмосферном давлении и 500°K. Выше пунктирной линии

CO_2 - CH_4 возможно формирование значительных количеств полициклических ароматических соединений и родственных им веществ

концентрации большого количества соединений, находившихся в первичной атмосфере Земли в состоянии термодинамического равновесия и представляющих интерес с биологической точки зрения. Расчеты, проведенные на ЭВМ, показали, что в состоянии термодинамического равновесия образуются, хотя и в малых количествах, также жизненно важные органические вещества как муравьиная, уксусная и молочная кислоты, пиридин, глицин и различные спирты, аденин, цитозин, глюкоглицин и ряд других соединений (рис.3.5).

Таким образом, для возникновения этих весьма сложных органических соединений не требовались какие-то исключительные условия в безжизненной атмосфере Земли; достаточно было установления частичного или полного термодинамического равновесия в системе H-C-O.

Именно в довольно широких условиях такого равновесия реализуются особые отличительные свойства атома углерода, прежде

всего, его способность образовывать цепи, которая у других химических элементов встречается редко и только при особых условиях синтеза. Другим важным свойством является возможность существования в одной и той же молекуле атомов углерода различной степени окисленности, что обуславливает внутреннюю неустойчивость молекул и их склонность к диспропорционированию, сопровождающемуся выделением энергии. Как отмечает Ю.А.Жданов (1968), органическое вещество, возникшее абиогенным путем, оказывается в состоянии быть источником энергии для своего внутреннего саморазвития.

Саморазвитие — то свойство, которое характерно как абиогенному органическому, так и живому веществу.

Из всех планет Солнечной системы именно на Земле создались наиболее благоприятные условия для реализации особых свойств атома углерода (наличие в атмосфере атомов Н, О и С, формирование гидросферы и невысокие положительные температуры среды), что привело к возникновению органической жизни. Будь Земля на месте Венеры или Марса, вряд ли это стало бы возможным (в первом случае — жара в сотни градусов, во втором случае — почти космический холод).

Однако не следует забывать, что и Солнце эволюционирует, причем в ходе эволюции диаметр Солнца уменьшается, а излучение возрастает. Существуют предположения, что солнечная радиация увеличивается примерно на 5% за млрд лет (Newman, Rood, 1977), т.е. на протяжении истории Земли должно наблюдаться постепенное потепление климата, а в архее и протерозое, по-видимому, было достаточно прохладно (если не холодно). В таких условиях жизнь вряд ли могла возникнуть. Однако не следует забывать, что пониженное значение солнечной постоянной, возможно, в то время компенсировалось более высоким содержанием CO_2 в атмосфере, что приводило к дополнительному нагреву за счет «парникового эффекта».

3.6. ВОДА — МАТЬ ЖИЗНИ. СТРУКТУРА ВОДЫ

Если Солнце — отец всего живого на Земле, дающий светло, тепло и энергию, то вода, по мнению многих ученых, является тем материнским «чревом», которое породило жизнь.

Однако в этом сравнении есть одна особенность. Дети на определенном этапе жизни вполне могут обойтись без своих родителей. Жизнь, зародившаяся в воде и в конце концов вышедшая из воды на сушу, так и не смогла освободиться от уз, связывающих ее с матерью — водой. Там, где нет воды, нет и жизни. Мать — вода и ее дитя — жизнь навечно переплелись в объятиях. Вода — не только

среда, где возникла жизнь, вода — постоянный спутник и участник жизни: вода входит в состав организмов, вода участвует в фотосинтезе при образовании сложных органических соединений, именно в водной среде протекают биохимические реакции и обитает огромное количество разнообразнейших организмов.

Организмы и природные воды Земли роднит еще одно общее свойство. Выше мы неоднократно подчеркивали, что все живое вещество Земли едино — как в вещественном, так и в генетическом, биохимическом и эволюционном отношениях. То же самое можно сказать о воде: все природные воды едины. Понятие о единстве природных вод впервые было сформулировано В.И.Вернадским в следующем виде: «**Вся жидкая составная часть вещества планеты представляет единое целое, неразрывно связанное в своем поражающем нас разнообразии**» (1960, стр.18). Более того, в настоящее время имеются веские основания говорить **об единстве природных вод и живого вещества**.

В предыдущем подразделе мы вкратце рассмотрели необычные свойства атома углерода, существенные для зарождения и существования жизни. Аномальные свойства, как было показано в подразделе 2.6, присущи также воде. Там же было высказано предположение, что именно благодаря этим свойствам молекулы воды являются средой и кирпичиками жизни. Вот такое удивительное сочетание у истоков жизни: необычные свойства атома углерода и аномальные свойства воды.

Ниже вкратце рассмотрим еще одно особое свойство воды — ее способность структурироваться. По мнению многих авторов, это свойство играет существенную роль в жизненных процессах, особенно на молекулярном уровне.

Известные в настоящее время представления о строении агрегатов молекул воды можно разделить на две группы (Самарина, 1977). Одни исследователи считают, что у молекул воды реализуются все четыре водородные связи (за счет двух пар неподеленных электронов кислорода и двух положительно заряженных атомов водорода), вследствие чего структура воды имеет тетраэдрический характер; каждая ее молекула окружена по тетраэдру четырьмя другими молекулами. Другие авторы полагают, что реализуются только две связи, благодаря чему молекулы воды образуют линейные цепи, основу которых составляют так называемые *водородные мостики*.

Начала первого направления были заложены в классических трудах Дж.Бернала и Р.Фаулера (1934). Согласно данным этих ученых, в зависимости от температуры воде присущи три типа расположения молекул: вода I — типа льда-тридимита, образует тетраэдрически координированную решетку со структурой, похожей на искаженную структуру минерала тридимита, и существует при температуре ниже 4°C; вода II — типа кварца, со структурой, напоминающей структуру минерала кварца, известна в интервале температур от 4 до 200°C; вода III — плотно уложенная идеальная жидкость без заметных водородных связей, существует при температуре выше 200°C.

Согласно современным представлениям, водяной пар не имеет структуры и состоит преимущественно из мономерных молекул воды. В противоположность этому лед — вода в высокой степени упорядоченности. Жидкая же вода занимает промежуточное положение между паром и льдом. При этом одни авторы структуру жидкой воды рассматривают как неоднородное образование, другие — как однородное.

Л.Холл (Hall, 1948) создал двухструктурную модель воды. Согласно этой модели, в воде существуют льдоподобные и плотно упакованные молекулы (мономеры), последние заполняют пространство между льдоподобными образованиями (льдоподобность объясняется близостью характера водородных связей в воде к тем, которые свойственны льду). Существование скоплений молекул воды, соединенных водородными связями, наиболее выгодно с энергетических позиций.

В модели Г.Фрэнка и У.Вина (Frank, Wen, 1957) островки льдоподобных структур рассматриваются в качестве «мерцающих роев» (*flickering clusters*). «Рой» или «кластер» включает до 150 молекул воды. Время его существования не превышает 10^{-10} — 10^{-11} с, вследствие чего и происходит характерное для этих образований «мерцание» (рис.3.6).

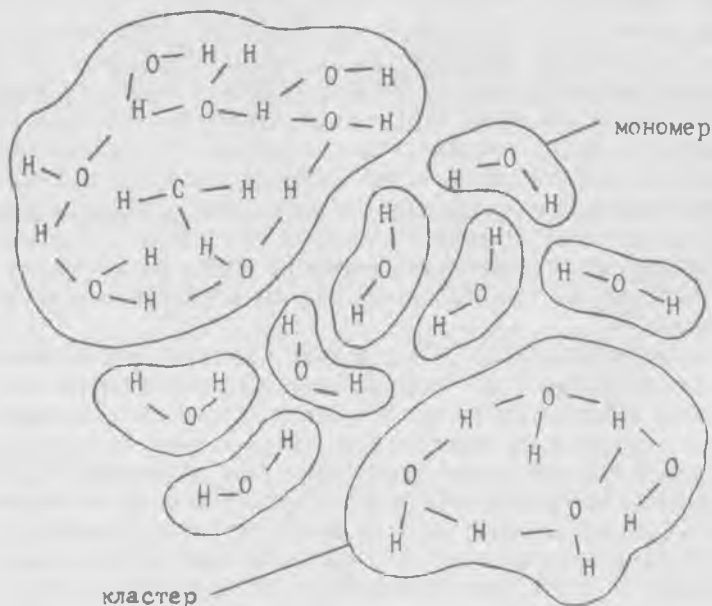
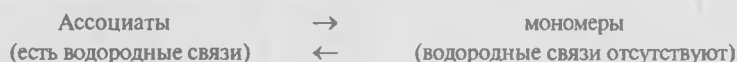


Рис. 3.6. Структура жидкой воды (модель «мерцающих роев»)

С повышением температуры часть водородных связей разрывается (при 100°C — около 70% всех связей, а при 370°C все молекулы воды оказываются мономерными), а также уменьшаются размеры «роев». С этими явлениями связано уменьшение вязкости воды с ростом температуры. Аналогично температуре на структуру воды действует внешнее давление, хотя его влияние выражается более сложной зависимостью.

Изложенное выше дало основание В.С. Самариной говорить о структурном равновесии воды:



Экспериментально установлено, что при таянии льда порции талой воды содержат повышенное количество льдоподобных структур. Так как в клетках организмов вода также структурирована, то талая вода благоприятно воздействует на живое вещество и даже является *биостимулятором* (А.К. Гуман). Положительное влияние талой воды объясняется следующими причинами. Во-первых, организму не требуется тратить дополнительную энергию для осуществления перестройки структуры воды. Во-вторых, структурированная вода легче вступает в различные биохимические реакции.

Вода, пишет В.М. Мухачев (1975), это как бы корсет для ДНК. Пока она структурирована — ДНК держится в своих спиральях. Но как только структура воды нарушается, удерживающая сила исчезает, и молекула ДНК начинает раскручиваться. При раскручивании ДНК должна сделать много сотен оборотов, преодолевая при этом сопротивление среды (вязкость). И тем не менее, такое раскручивание происходит очень быстро — всего за 1,4 с. Таким образом, вода как бы является составляющей молекулы ДНК, участвующей в передаче информации, необходимой для функционирования живого организма.

Скорость химических реакций, как известно, увеличивается с повышением температуры. Однако белковые вещества имеют верхний предел температурной устойчивости. Поэтому у высших теплокровных организмов выработался такой механизм терморегуляции, который устанавливает температуру тела на уровне 37°C. Наряду с «барьером устойчивости» белков существует и другой механизм, ориентированный именно на этот температурный уровень, — водный. В.М. Мухачев указывает, что вода имеет как бы две точки появления: при 0°C, когда она превращается в жидкость, и между 30 и 40°C, когда под влиянием интенсивного теплового возмущения кристаллическая структура исчезает полностью. Однако этот процесс обратим, и клетка способна восстанавливать кристаллическую структуру воды именно в этом интервале температур.

Существенное влияние на структуру воды оказывают водорастворенные вещества. Это обусловлено тем, что водородные связи имеют электростатический характер, следовательно, растворяемые ионы влияют на эти связи. Установлено, что ионы больших размеров способствуют разрушению льдоподобных структур (K^+ , Rb^+ , $B\bar{r}$, J^-). Если заряд иона еще и невелик, то водородные связи не будут заменены сильным взаимодействием воды с ионами, и молекулы воды приобретут большую подвижность. Ионы с большой плотностью заряда (небольшой размер и значительный заряд, например Li^+ и F^-) укрепляют льдоподобные структуры и снижают подвижность молекул воды.

Появление ионов в воде вызывает также изменение ее термодинамических свойств (Крестов, 1962). В частности, изменение энтропии при введении в воду ионов может быть охарактеризовано следующим уравнением:

$$\Delta S_{гидр} = \Delta S_1 + \Delta S_2,$$

где $\Delta S_{гидр}$ — изменение энтропии при гидратации иона;
 ΔS_1 — изменение энтропии при образовании иона в водном растворе из газообразного иона и какого-то количества молекул воды;
 ΔS_2 — изменение энтропии, связанное со структурными изменениями воды при гидратации иона.

Величины ΔS_2 для некоторых ионов приведены в табл.3.6.

Таблица 3.6

Величина изменения энтропии, связанной со структурными изменениями воды при гидратации одноатомных ионов (по Г.А.Крестову)

Ион	Радиус иона, Å	ΔS_2 , э.е.	Ион	Радиус иона, Å	ΔS_2 , э.е.
Li^+	0,68	+10,9	Fe^{3+}	0,67	+102,4
Na^+	0,98	+1,3	F^-	1,33	-13,6
K^+	1,33	+8,1	Cl^-	1,81	-1,2
Rb^+	1,49	+12,5	$B\bar{r}$	1,96	-6,4
Mg^{2+}	0,74	+46,1	J^-	2,26	-12,6
Ca^{2+}	1,04	+31,6	S^{2-}	1,82	-216,1
Sr^{2+}	1,20	+25,5	Se^{2-}	1,93	-10,8
Al^{3+}	0,57	+95,0			

Преобладание эффекта разупорядочения (увеличение энтропии, положительные значения ΔS_2) соответствует понятию *отрицательной гидратации*. Преобладание эффекта упорядочения (уменьшение

энтропии, отрицательные значения ΔS_2) количественно характеризует явление *положительной гидратации*.

При растворении в воде ионов, обладающих положительной и отрицательной гидратацией, их общее влияние на структуру раствора будет зависеть от того, насколько тот или иной ион способен нейтрализовать противоположное влияние другого иона.

Естественно, что электролиты вызывают структурные изменения в клетке. Форма спирали ДНК практически идеально вписывается в кристаллическую решетку льда (или льдоподобного кластера). Присутствие электролита вызывает сжатие молекулы ДНК, в результате чего спираль уже не подходит к структуре льда и объем («корсет») упорядоченной воды сильно уменьшается.

Структурно упорядоченные слои воды образуются также возле твердых поверхностей (на расстоянии нескольких микронов). Такое же упорядочение структуры воды вызывают и органические макромолекулы. Методом протонного магнитного резонанса было установлено, что молекула ДНК в ориентирующем потоке может упорядочивать воду на расстоянии до 1000 Å от ее поверхности.

Слой воды, примыкающий непосредственно к поверхности твердого тела, имеет толщину порядка $(6-10) \cdot 10^{-7}$ см и в научной литературе именуется *гидратным*. Этот слой состоит из ориентированных молекул (за счет молекулярных сил на поверхности раздела «твердое тело — вода») и имеет четко выраженную границу, отделяющую ее от следующего слоя (*диффузного*). Вода гидратного слоя обладает упругостью формы, которая может быть охарактеризована измеримой величиной модуля сдвига. Ей присущи и другие свойства, резко отличные от свойств обычной воды. Так, плотность гидратной воды в полтора и более раз выше плотности обычной воды, ее средняя диэлектрическая постоянная равна 2,2, резко понижена температура замерзания (до -80°C и ниже), она плохо растворяет соли-электролиты и т.д.

Гидратная вода, переведенная в свободное состояние, некоторое время сохраняет свои необычные свойства (от 3-4 часов до нескольких суток), т.е. находится в метастабильном состоянии. Эту воду мы называли *остаточно модифицированной* (Валуконис, 1976).

Под воздействием ультразвука свои необычные свойства достаточно модифицированная вода теряет в течение первых минут, а при механическом перемешивании — в течение 2-3 ч. В условиях полного покоя период релаксации достигает 3-4 суток.

К числу наиболее интересных свойств достаточно модифицированной воды относится ее повышенная электропроводность и растворяющая способность по сравнению с обычной водой при тех же условиях. Примечательно также следующее: добавление к этой воде электролита (до концентрации $1-2 \cdot 10^{-6}$ N) уменьшает ее электропроводность, в то время как для обычной дистиллированной воды наблюдается прямо противоположный эффект.

Биологическое значение остаточной модифицированной воды пока совершенно не изучено, но не вызывает сомнения, что именно она может играть существенную роль в биохимических процессах.

В своих построениях как биологи, биохимики, так и экологи учитывают физические и физико-химические свойства воды и водных растворов, однако, как справедливо отмечает А.М. Блох (1966), представления о том, что все свойства воды зависят от характера среды, в которой она пребывает, и о том, что при каждой температуре, при каждом давлении вода представляет собой специфический растворитель с индивидуальными свойствами, еще не получили прав гражданства в этих науках.

Исходя из современных взглядов о структуре и свойствах воды, нами была предложена следующая классификация природных вод (табл.3.7).

Таблица 3.7

Классификация природных вод как специфических растворителей с индивидуальными свойствами (Ходьков, Валуковис, 1966)

Тип воды	Подтип воды	Основные факторы, обуславливающие свойства воды
Свободная	Почти не содержащая растворенных веществ.	Структура воды, зависящая от температуры и давления, а также от присутствия растворенных веществ. Структура воды зависит от характера и величины связывающих сил между поверхностью и молекулами воды.
Связанная (на по верхностях и вблизи поверхностей)	Минерализованная Гидратная	
	Диффузная	

Завершая данный подраздел, считаем необходимым подчеркнуть, что структуру воды необходимо понимать в широком смысле: во-первых, как структуру самой молекулы H_2O и, во-вторых, как структуру некоторого множества молекул воды.

Аномальные свойства воды вытекают из особенностей структуры ее молекулы от обусловленных этой структурой межмолекулярных взаимодействий. Это весьма четко подметил В.Л.Василевский: «В жидкой воде присущая льду связь каждой молекулы H_2O с четырьмя соседними («ближний порядок») в значительной степени сохраняется, однако «рыхлость» структуры при плавлении льда уменьшается, молекулы «дальнего порядка» попадают в «пустоты», что ведет к росту плотности воды. Водородные связи примерно в 10 раз прочнее, чем связи, обусловленные межмолекулярными взаимодействиями, характерными для большинства других жидкостей, поэто-

му для плавления, испарения, нагревания воды необходимы гораздо большая энергия, чем в случае других жидкостей, что объясняет отмеченные аномально высокие значения теплот плавления и испарения и удельной теплоемкости» (1971, с. 172-173).

Структура множества молекул воды зависит, прежде всего, от температуры и давления, а также наличия электролитов и взаимодействующих с ней твердых поверхностей, в том числе от состава клеточных и внеклеточных жидкостей живых организмов и наличия в клетках твердых и твердообразных поверхностей (оболочки, ядра, митохондрии и т.п.).

3.7. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОСФЕРЫ И ЕЕ ЭВОЛЮЦИЯ

Как уже неоднократно отмечалось выше, многие прямые и косвенные данные указывают на то, что жизнь на Земле могла зародиться в океане где-то $3,5 \pm 0,5$ млрд лет назад. В связи с этим весьма примечательны слова академика С.С. Шварца, который писал: «Химизм нашей крови в значительной степени отражает химию океана. В своем организме мы несем память об условиях зарождения жизни» (1977, с. 375).

Поэтому хотя бы краткое рассмотрение гидросферы, как одного из главных компонентов экологической среды, неизбежно для правильного понимания условий зарождения жизни и существования порядка — биосферы.

Гидросфера — непрерывная внешняя оболочка Земли (геосфера), состоящая из пространственно прерывистых и качественно отличающихся друг от друга звеньев (океаны, моря, озера, реки, почвенные воды, парообразная влага, вода живых организмов и т.п.).

Верхняя граница гидросферы определяется уровнем поверхности открытых водоемов (если не считать атмосферной влаги). Нижняя граница гидросферы точно не определена. Одни авторы ее проводят по температурному уровню 374°C , который соответствует критической температуре воды. Г.Ю. Валуконис и А.Е. Ходьков (1978) выделяют три гидрогеологические зоны подземных вод и нижнюю зону гидросферы проводят практически по границе Мохоровичича (Мохо). По данным этих авторов верхняя гидрогеологическая зона характеризуется следующими параметрами: субвулканические породы этой зоны, возникшие на глубине порядка 1 км при давлении 10-15 МПа, содержат не более 0,2-1% H_2O ; в породах фации больших глубин (3-6 км) и давлений (100-180 МПа) количество связанной воды возрастает до 3,5-5%. Для метаморфических пород этой зоны картина обратная: породы фаций амфиболитовой и зеленых сланцев содержат до 2-4% воды, в то время как в более глубинных

фациях (эктолитовой и гранулитовой) ее содержание понижается до 0,3-0,5%. В нижней гидрогеологической зоне метаморфические породы практически обезвоживаются, зато магматические породы (расплавы) могут содержать до 9-10% воды (судя по ее растворимости). Между верхней и нижней зонами расположена средняя гидрогеологическая зона. В пределах этой зоны и метаморфические, и магматические породы постепенно теряют воду. В целом это зона минимального водосодержания (рис. 3.7).

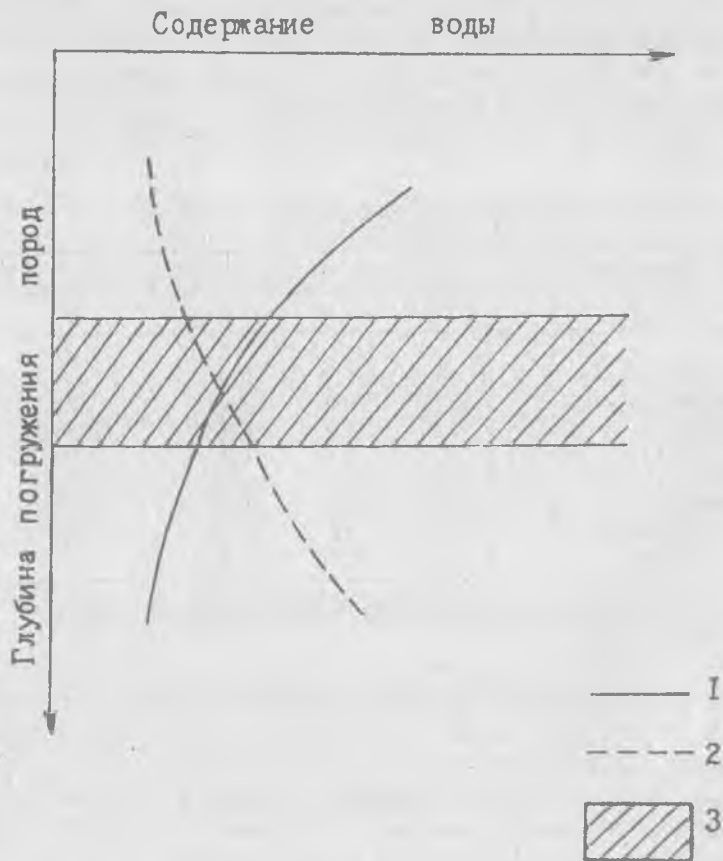


Рис. 3.7. Схема гидрогеологической зональности земной коры:
 1—осадочные и метиморфические породы; 2—магматические породы;
 3—зона минимального водосодержания

В составе гидросферы различают четыре типа природных вод, различающиеся по составу и физическим свойствам: воды морей и океанов, воды суши, воды ледников и подземные воды. Общая масса гидросферы около $1700 \cdot 10^{15}$ т (примерно 0,025-0,030% общей массы Земли). Количество морских и океанических вод оценивается в 1370-1400 млн км³, вод суши 0,5 млн км³, вод ледников около 22 млн км³, подземных вод 200 млн км³ (последняя цифра, вероятно, занижена).

Воды морей и океанов, как видим, составляют основную массу гидросферы (свыше 80%), поэтому понятна их приоритетная роль в развитии жизни на Земле.

Более точные данные по количественной характеристике гидросферы приводит А.А. Соколов (табл.3.8).

Таблица 3.8

Водные ресурсы Земли (по Соколову, 1974)

Виды вод	Объем	
	тыс.км ³	%
Океан	1 338000	96,52
Лед и снег	24012,1	1,74
Подземные ^{*)}	23400	1,69
Руслу рек	2,12	0,00015
Озера	176,4	0,013
Болота	10,3	0,0007
Атмосферные	12,9	0,0009
В живых организмах	1,12	0,00007
Всего	1 385600	100

* Не считая подземных вод в Антарктиде, ориентировочно оцениваемых в 2000 тыс.км³.

Однако и эти цифры, по-видимому, занижены (за счет недоучета полного объема подземных вод). Реальный объем гидросферы, на наш взгляд, должен быть увеличен до 2500000-3000000 тыс.км³.

Воды суши в основном пресные, а океанов и морей соленые. Воды океана содержат примерно 35 г солей в 1 л (3,5%), причем соленость колеблется в довольно узких пределах (3,3-3,6%). Как в морских водах, так и в водах суши преобладают одни и те же ионы, однако их соотношение совершенно различно (табл.3.9).

Таблица 3.9

Главные ионы гидросферы и их соотношения

Виды вод	Главные катионы	Главные анионы
Морская вода	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$
Материковая вода	$\text{Mg}^{2+} < \text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+}$	$\text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{HCO}_3^-$

Каким был первичный состав гидросферы? На этот вопрос попытался ответить М.Г.Валяшко (1971), используя данные о содержании летучих компонентов в хондритах, характеризующих вещество мантии Земли (табл.3.10).

Таблица 3.10

Гипотетический состав ювенильных растворов и современной морской воды (по М.Г.Валяшко)

Компонент	Хондриты, %	Первичный раствор, г/100 г	Вода океана, г/100 г
H_2O	0,5	—	—
C	$4 \cdot 10^{-2}$	8	$3,5 \cdot 10^{-3}$
F	$2 \cdot 8 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$
Cl	$7 \cdot 10^{-3}$	1,4	1,9
Br	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-3}$
I	$4 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
B	$4 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$
N	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-3}$

Таким образом, первичный раствор был резко обогащен галогенами, углеродом, бором и азотом и, скорее всего, имел кислый характер (рН 1-2).

Ниже приводится краткая история эволюции состава гидросферы (точнее, основной ее массивы в виде океанических и морских вод). Более полное ее изложение дано в монографии Г.Ю.Валуко-ниса и А.Е.Ходькова (1978). Эволюционный процесс сопоставлен с развитием жизни на Земле (рис.3.8).

Тип воды	Этап	Ископаемые остатки
5,0 4,5 Хлоридно-водородный	Азойский	Отсутствие признаков жизни
4,0 Хлоридно-рудный	Археозойский	
3,5 Хлоридно-кальциевый		
3,0 Хлоридно-магниевый		
2,5 Хлоридно-сульфатный (сульфаты магния)	Протерозойский-рифейский	Широкое распространение строматолитов и различных микроорганизмов
2,0 1,5 Хлоридно-магниевый (сульфаты магния и кальция)		Бескелетные морские животные
1,0 0,5 0,0 Хлоридно-магниевый (сульфаты магния и кальция)	Фанерозойский	Почти все типы морских животных

Рис. 3.8. Эволюция химического состава гидросферы и ее связь с нахождением остатков ископаемых организмов

Итак, азойской этап истории нашей планеты характеризуется наличием весьма кислой гидросферы, физико-химические свойства которой определяли преобладание галогенов (в основном, хлора) и повышенные концентрации ионов водорода. Такая вода может быть названа хлоридно-водородной. В отложениях азойского этапа какие-либо признаки жизни не обнаружены.

В начале археозойского этапа рН воды несколько повышается. Продолжают существовать повышенные концентрации рудных компонентов, что всегда характерно для кислых природных водных растворов. Однако ионные их формы начинают вытесняться карбо-

натными комплексами (в связи с наличием густой атмосферы преимущественно углекислотного состава). В виде хлоридов и свободных ионов по-прежнему существуют калий, натрий, кальций, железо, марганец, алюминий. По специфическим солям эти воды могут быть названы хлоридно-железисто-алюминиевыми (на рис. 3.8 — хлоридно-рудными). Содержание хлоридов железа, магния и алюминия, судя по составу современных гидротерм и мощному развитию *джерсилитов* (железных руд) в доисторический этап, могло достигать 5-10% от суммы всех водорастворенных солей. Следы жизни в синхронных отложениях также не обнаружены.

Во второй половине архея из океанической воды исчезают хлориды алюминия и железа. Она превратилась в хлоридную (по классификации Н.С. Курнакова — М.Г. Валяшко) или хлор-кальциевую (по классификации В.А.Сулина). Учитывая относительно высокие значения отношения Mg/Ca в древних породах, можно полагать, что доля хлористого кальция (CaCl_2) в составе морских солей не превышала 10-20%. Расчеты показывают, что для перевода морей хлор-кальциевых в сульфатные (хлоридно-сульфатные) водам континентального стока (при современном их составе) потребовалось бы несколько сот миллионов лет. Океаны хлор-кальциевого типа исчезли примерно 2,8 млрд лет назад.

Однако хлор-кальциевые моря, по-видимому, уже были благоприятны для зарождения простейших форм жизни. Об этом свидетельствует нахождение в докембрийских толщах остатков ископаемых организмов в виде *агрегатов микрофоссилий* и *строматолитов*.

Агрегаты микрофоссилий, представленные сине-зелеными водорослями и другими примитивными формами, обнаружены в кремнистых отложениях Северной Америки, Африки и Австралии. Наиболее древний, хорошо сохранившийся агрегат микрофоссилий имеет возраст 2250 млн лет (доломиты Трансвааля, ЮАР). Объекты, похожие на микрофоссилии и состоящие из органического вещества обнаружены в супергруппе формаций Свазиленд (также ЮАР, возраст 3200 млн лет). Строматолиты (слоистые куполообразные отложения карбоната кальция), хотя и не представляют собой непосредственных органических остатков подобно кремнистым микрофоссилиям, тем не менее свидетельствуют о существовании жизни (аналогичные образования и в наши дни образуют сине-зеленые водоросли). Возраст строматолитов хорошей сохранности достигает 3100 млн лет (группа формаций Булавайан, юго-западная часть Зимбабве).

В океанах хлор-кальциевого типа кроме карбонатов и гидрокарбонатов железа (в меньшей мере марганца и алюминия) присутствовали также карбонаты кальция. На фоне повышающегося водо-

родного показателя и высокого парциального давления CO_2 место исчезнувшего из океанической воды хлористого кальция занимают карбонаты и гидрокарбонаты кальция. Кроме того, в воде океана содержались хлористые соединения натрия, калия и магния. Эти воды дали начало накоплению мощных толщ карбонатов и джеспилитов.

Выпадение карбонатов железа из растворов происходит как при повышении парциального давления CO_2 , так и при его понижении. Первый путь возможен, если водородный показатель контролируется карбонатным равновесием, т.е. парциальным давлением CO_2 , второй — если буфер «внешний». Согласно представлениям о преобладании в докембрийской атмосфере углекислого газа, предпочтительнее первый путь. Расчеты показывают, что выпадение карбонатов железа происходило вплоть до $\text{pH} = 6$ и $P_{\text{CO}_2} = 0,1$ МПа. При понижении P_{CO_2} до 0,001 МПа на смену карбонатному буферу пришел силикатный.

Дальнейшее изменение химического состава океанической воды теснейшим образом связано с появлением в атмосфере значительных количеств свободного кислорода. Кислород способствовал накоплению в гидросфере сульфатов. До этого сера в древних газовых эксталяциях шла лишь в виде сероводорода и свободной серы, а ее кислородные соединения (SO_2 и SO_3) возникать не могли.

Наличие свободного кислорода в атмосфере способствовало появлению в воде сульфата магния, который начал вытеснять карбонат магния. В сочетании с понижением парциального давления CO_2 это привело к массовому доломитообразованию, проходившему в полуотчлененных морях как начальный этап галогенеза и поддерживавшему ненасыщенность открытых морей карбонатами кальция и магния. В морях создаются благоприятные условия для широкого распространения строматолитов и различных микроорганизмов. Во второй половине рифея появляются бесскелетные морские животные.

К концу позднего протерозоя и рифея в океанической воде появляется сульфат кальция, т.е. по набору солей она становится аналогичной современной. Падение щелочного резерва в воде привело к тому, что доломитообразующее вещество перестало в условиях гумидных зон насыщать воду, и массовое доломитообразование здесь прекратилось.

На историческом (с начала кембрия) этапе существенно возрастает роль биоса: в синхронных морских отложениях обнаруживаются почти все типы морских животных, резко возрастает роль скелетных форм.

На фоне направленной эволюции химического состава вод Мирового океана прослеживаются периодические отклонения в содержании ряда компонентов. Они прежде всего связаны с угасанием или усилением вулканической деятельности, а также с клима-

тическими изменениями, которые связывались на характере выветривания пород и на процессах обмена солями между океаном и континентом. Соленость океана особенно резко падала с широким развитием галогенеза и таянием континентальных ледников.

Современная океаническая вода недонасыщена основными солевыми компонентами (за исключением CaCO_3). Она находится в динамическом равновесии с осадками, атмосферой и живыми организмами. Основной привнос солей осуществляется водами поверхностного стока.

В современную эпоху на вещественный состав гидросферы ощутимое влияние оказывает деятельность человека — загрязнение водоемов, добыча из морской воды огромных количеств сернокислых солей натрия, магния и калия, бромидов, иодидов и т.п. Гидросфера загрязняется нефтью, сточными водами промышленности, радионуклидами. В ряде районов Мирового океана появились ощутимые концентрации ртути и других тяжелых металлов. Все это резко ухудшило экологическую обстановку гидросферы и биосферы в целом.

При этом необходимо учесть, что в океанах ежегодно образуется $0,06 \cdot 10^{12}$ т живой растительной массы, а это составляет примерно четвертую часть общей биологической продуктивности нашей планеты. За счет океанической фитомассы существует огромное количество как морских (рыбы, киты, моллюски и др.), так и наземных (птицы) консументов, включая человека. Поэтому познание экологических взаимосвязей в морях и океанах, как главной компоненте гидросферы, является важнейшей задачей экологической науки.

Наиболее общая классификация водных организмов, основанная на образе их жизни, выглядит следующим образом (табл.3.11).

Таблица 3.11

Классификация гидробионтов (по Одуму, 1975)

Класс, подкласс	Признаки класса или подкласса	Примеры
1	2	3
1. Бентос 1.1. Фитобентос 1.2. Зообентос 1.2.1. Фильтраторы	Прикрепленные к дну или живущие на нем (и в толще осадков) организмы Растения Животные Выделены по способу питания	Двухстворчатые моллюски

Класс подкласс	Признаки класса или подкласса	Примеры
1	2	3
1.2.2. Грунтоеды	-	Брюхоногие моллюски
2. Перифитон	Животные и растения, прикрепленные к листьям и стеблям, возвышающимся над дном	
3. Планктон	Плавающие организмы (с помощью течений)	
3.1. Фитопланктон	Растения	Диатомеи
3.2. Зоопланктон	Животные	Веслоногие раки, медузы
4. Нектон	Активно плавающие организмы	Рыбы, амфибии, киты и др.
5. Нейстон	Особая группа неподвижных или плавающих организмов (на грани водной и воздушной сред, до глубины 5 см от поверхности воды)	

За длительное время эволюции организмы освоили различные зоны гидросферы (сказанное относится как к океаническим пространствам, так и к малым водоемам). По этому признаку они классифицируются следующим образом (табл. 3.12, рис.3.9).

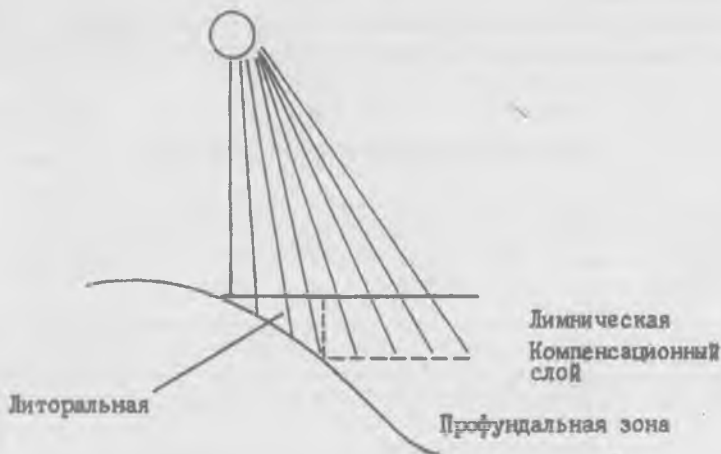


Рис. 3.9. Три главные зоны в водоеме

Таблица 3.12.

**Классификация организмов по занимаемым ими зонам
(по Одуму, 1975)**

Класс	Признаки класса	Примеры
1. Организмы литоральной зоны	Укорененные на мелководных участках, в которых свет проникает до дна	Прибрежные водоросли, растения-гидрофиты
2. Организмы лимнической зоны	Приурочены к толще воды до глубины эффективного проникновения света	Нектон, планктон
3. Организмы про-фундальной зоны	Населяют дно и толщу воды, куда не проникает солнечный свет	

Таким образом, можно с большой степенью уверенности утверждать, что зональность организмов по жизненным формам и местобитаниям в значительной мере обусловлена зональностью самих водоемов (и гидросферы в целом), а также зональностью экологических факторов.

Завершая данный подраздел, приведем сравнительные данные по составу крови человека и солевому составу океанических вод (табл.3.13).

Таблица 3.13

**Химический состав крови человека и вод Мирового океана
(Реймерс, 1990)**

Компоненты	% от суммы растворенных солей	
	в крови человека	в воде Мирового океана
Хлор	49,3	55,0
Натрий	30,0	30,6
Калий	1,8	1,1
Кальций	0,8	1,2

Данные второй и третьей вертикальной колонок очень близки, хотя и имеются некоторые отличия. В целом же они подтверждают гипотезу о том, что жизнь зародилась именно в океанической воде.

3.8. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ДЕЙТЕРИЯ

Один из первых на экологическую роль *дейтерия* обратил внимание В.М.Мухачев (1975). В его работе приведена следующая таблица.

Содержание элементов в человеческом теле

Элемент	Вес, %	Число атомов на 100 атомов водорода	Место по числу атомов
Кислород	60,0	37,9	2
Углерод	20,2	17,0	3
Водород	10,0	100,0	1
Азот	2,5	1,8	4
Кальций	2,5	0,6	5
Фосфор	1,14	0,4	6
Хлор	0,16	0,05	7
Сера	0,14	0,04	8-9
Калий	0,11	0,03	10-11
Натрий	0,10	0,04	8-9
Магний	0,07	0,03	10-11
Железо	0,01	0,002	13
Деитерий	—	0,015	12

В.М. Мукачев рассуждает следующим образом: «По относительному содержанию атомов дейтерия ему отводится двенадцатое место, сразу после калия и магния. Даже железа в организме меньше, чем дейтерия. Содержание же (в атомных процентах) таких микроэлементов, как медь, кадмий, марганец, цинк, молибден и другие, много меньше, в десятки и сотни раз, чем дейтерия. А ведь известно, как сильно влияет небольшое изменение ничтожного содержания микроэлементов на состояние живых организмов. Недостаток меди резко снижает урожайность; недостаток цинка ведет к мелкорослости, а избыток, наоборот, к повышенному росту. Короче говоря, если дейтерий отнести к микроэлементам, то его надо поставить на первое место» (стр.54).

После столь пространной цитаты целесообразно рассмотреть распространенность в природе и свойства дейтерия.

Изотопы водорода имеют следующие распространённости:

H^1 (H-протий) — 99,9844%, H^2 (D-дейтерий) — 0,0156%, H^3 (Т-трибий) — $3,1 \cdot 10^{-16}\%$ (Щербина, 1972). Отношение H/D в гидросфере составляет около 6400. Дейтерий образует тяжелую воду D_2O , свойства которой отличаются от свойств H_2O (табл.3.15).

Таблица 3.15

Некоторые физические свойства легкой и тяжелой воды
(Шатенштейн и др., 1957)

Свойство	Вид воды	
	H ₂ O	D ₂ O
Молекулярный вес	18	20
Плотность при 25°C, т/м ³	0,9970	1,1044
Температура, °C		
замерзания	0,0	3,81
кипения	100,0	101,43
максимальной плотности	3,98	11,23
Теплоемкость при 25°C, кал/моль	18,00	20,13
Теплота испарения (при t кипения)	9719	9927
Теплота плавления (при t плавления), кал/моль	1436	1515
Диэлектрическая проницаемость, при 25°C	78,54	78,25

Как видим, различие в свойствах легкой и тяжелой воды весьма существенно. Поэтому можно предположить, что H₂O и D₂O будут по разному влиять на биологические объекты.

И действительно, оказалось, что в тяжелой воде живые организмы быстро погибают, так как она замедляет сложные биохимические реакции, а также обладает пониженной растворяющей способностью по отношению к электролитам.

Здесь важно подчеркнуть, что специфические свойства тяжелой воды во многом связаны с ее строением. В ее молекуле расстояние О-Д несколько меньше по сравнению с расстоянием О-Н (при большой массе пары). Вследствие этого в льдоподобном каркасе молекулы D₂O оказываются ближе друг к другу, благодаря чему дейтериевая связь заметно прочнее водородной.

Исходя из вышеизложенного, природные воды, обедненные дейтерием, более благоприятны для жизнедеятельности организмов, чем воды, обогащенные дейтерием.

Как отмечает Е.В. Пиннекер (1982), фракционирование (разделение) изотопов водорода и кислорода происходит главным образом при фазовых переходах в процессе круговоротов воды в природе. Наиболее однородный и устойчивый изотопный состав присущ океанической воде, которая представляет основной аккумулятор дейтерия и тяжелого кислорода. Вода рек и пресноводных озер содержит гораздо меньше H² и O¹⁸. В снеге меньше тяжелых изотопов, чем в воде.

Г. Крейг (*Craig*, 1961) установил широтную зональность в распределении тяжелых изотопов воды. По его данным, высокое содержание H^2 и O^{18} свойственно метеорным водам тропических широт, где оно приближается к таковым значениям в океанической воде. Намного ниже концентрация тяжелых изотопов в метеорных водах умеренного пояса, а самая низкая — в атмосферных осадках и льдах полярных областей.

Каково экологическое значение пониженного содержания дейтерия в водах суши, ледниках, в полярных и приполярных областях?

В.М. Мухачев считает, что именно наличие обедненной дейтерием «живой» воды может объяснить такие хорошо известные факты как тяготение гигантских китов к кромкам тающих полярных ледников, где урожаи планктона много выше, чем у экватора, миграция многих рыб из морей в верховья рек, перелет птиц в места гнездования на севере, наличие крупных животных (слонов, гиппопотамов и др.) именно в Восточной Африке, где льют дожди, содержащие дейтерия меньше нормы, наличие очага долгожителей в районе г. Верхоянска и, вообще, более продолжительная жизнь северян по сравнению с южанами и т.п.

Можно предположить, что и на уровне ДНК замена протия на дейтерий приведет к «сбою» генетического механизма, что отражается на *мутационности* и, в более долговременном аспекте, — на эволюционных процессах.

3.9. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АРАЛА И ПРИАРАЛЬЯ

Неконтролируемое и непродуманное вторжение человека в экологическую среду приводит к возникновению кризисных ситуаций, угрожающих существованию и благополучию самого человека. Об этом свидетельствуют покинутые города майя в джунглях Юкатана (Центральная Америка) и аналогичные города в джунглях Индии, засыпанные песком городища и ирригационные системы в пустыне Гоби и на юге Сахары.

Кризисные ситуации возникают и в наше время, в том числе в гидросфере. Для примера более подробно рассмотрим экологические проблемы Арала (и прилегающих к нему областей), этого уникального озера-моря, расположенного на стыке крупнейших пустынь Средней Азии — Каракумов, Кызылкумов, Устюрта, Больших и Малых Барсуков и Приаральских Каракумов.

Проблема Аральского моря наиболее глубоко освещена в известной работе И. Каримова (1997). Позволим себе изложить основные положения этой работы, а также процитировать наиболее важные места.

«Острейшей экологической проблемой, можно сказать, национальным бедствием, стала проблема исчезновения Аральского моря. Проблема Аральского моря корнями уходит в далекое прошлое. Но угрожающие масштабы приняла в последние десятилетия. Интенсивное строительство оросительных систем по всей территории Центральной Азии наряду с тем, что дало воду многим населенным пунктам и промышленным предприятиям, стало причиной и глобальной катастрофы — гибели Арала. Еще не так давно звучали победоносные фанфары по случаю отвоеванных у пустынь и степей новых политых водой земель, забывая при этом, что эта вода отнята у Арала, «обескровила» его. Сегодня Приаралье — зона экологического бедствия» (стр. 118-119).

По мнению И. Каримова, «Аральский кризис — одна из самых крупных экологических и гуманитарных катастроф в истории человечества, под его воздействием оказалось около 35 млн человек, проживающих в бассейне моря» (стр.119).

Об этом свидетельствуют следующие факты, которые могут потрясти душу даже самого равнодушного человека.

Так, если в 1911-1962 гг. уровень Аральского моря находился на абсолютной отметке 53,4 м, объем воды в море составлял 1064 км³ при площади водного зеркала 66 тыс.км² и минерализации воды 10-11 г/л, то к 1994 году уровень воды снизился до абсолютной отметки 32,5 м, ее объем уменьшился более чем в 2,5 раза (менее 400 км³) при площади зеркала 32,5 тыс.км² и минерализации, возросшей вдвое.

Ранее море имело большое транспортное, рыбохозяйственное и климатическое значение. За счет стока рек Сырдарьи и Амударьи оно ежегодно получало около 56 км³ воды.

Ныне мы имеем уже не единое море-озеро, а два остаточных озера. В результате снижения уровня Арала на более чем 20 м его берега отступили на 60-80 км. Деградируют дельты Амударьи и Сырдарьи. Осушенное дно обнажилось на площади более 4 млн га. Эта площадь стала еще одной пустыней, но уже рукотворной. С высохшего дна Аральского моря ветры поднимают в воздух соль и пыль и уносят их на сотни километров, что приводит к опустыниванию земель не только Приаралья, но и значительно удаленных от моря. Пыльно-солевые бури на осушенном дне Арала, впервые обнаруженные в результате космических съемок еще в 1975 году, ныне стали обыденным явлением. С начала восьмидесятых годов такие бури наблюдаются здесь по 90 дней в году. Шлейфы пыли достигают 400 км в длину и 40 км в ширину, а радиус действия пыльных бурь — до 300 км. Ежегодно в атмосферу поднимается от 15 до 75 млн т пыли и солей.

Все это повлекло за собой изменение климата Приаралья (его предельную аридизацию). С 1983 года Арал перестал существовать как место добычи рыбы. Ржавые остовы кораблей и разоренные поселки рыбаков можно обнаружить далеко от современной береговой линии. Исчезли заливы Бозколь, Алтынколь, Каратма, слился с сушей Акпеткинский архипелаг, исчезают пастбища и сенокосы. Растущий дефицит воды и ухудшающееся ее качество повлекли за собой деградацию почв и растительного покрова, изменения во флоре и фауне, а также снижение эффективности орошаемого земледелия. В южной части рассматриваемой территории сформировался Джилтырбасский озерно-болотный комплекс, возникший в результате накопления здесь стоков р. Казахдарьи сброса вод из магистральных коллекторов КС-1, КС-3 и КС-4.

Общее представление о трагедии Аральского моря может быть получено при рассмотрении рис.3.10.

И. Каримов с болью пишет: «В течение 20-25 лет мы являемся свидетелями исчезновения одного из крупнейших замкнутых водоемов в мире. Еще не было случая, чтобы на глазах одного поколения гибло целое море» (стр.119).

«Арал» в переводе с казахского языка — «остров». И верно, Аральское море до недавнего времени было своеобразным островом чистой воды в бескрайнем океане степей, полупустынь и пустынь. По прозрачности Арал сравнивали с Байкальским озером. Ихтиофауна, ныне исчезнувшая, включала такие ценные виды как жерех, сазан, тарань, вобла, аральский лосось, осетровый шип и ряд других.

Гибель Арала в ряду мировых экологических катаклизмов ставится на второе место после угрозы уничтожения тропических лесов в бассейне Амазонки. Последствия исчезновения моря для огромного среднеазиатского региона (да и не только для него) являются ни с чем не сравнимой катастрофой прежде всего потому, что вопрос поставлен о самом существовании людей, населяющих этот регион (Бекназов, Новиков, 1995).

При изучении экологии Арала и Приаралья необходимо различать две составляющие, формировавшие современный их облик, — природную и антропогенную. Первая составляющая не менее важна, чем вторая. И вот почему.

С позиций геологически длительного развития земной коры широтный пояс сточных и бессточных морей и озер, включающий Средиземное, Мраморное, Черное моря, а также Каспийское и Аральское моря-озера, представляет собой реликт некогда существовавшего здесь моря Тетиса, отделявшего южный материк Гондвана от севернее расположенных более мелких материков. Геологические про-



Рис. 3.10. Изменение берегов Аральского моря в результате снижения его уровня (в течение 1961—2000 гг.)

1—острова Аральского моря (1961 г.) 2—осушенная часть Аральского моря;
3—Джилгырбасский озерно-болотный комплекс; 4—песчано-солончаковый комплекс бывшего Аптекинского архипелага; 5—остаточные озера

цессы шли таким образом, что юго-восточная часть этого моря превратилась в сушу, более того, там возникли высокие горы (Гималаи, Гиндукуш, Каракорум и др.). Эти процессы идут и сегодня, поэтому с течением времени обречены на исчезновение и водоемы (Каспийское и Аральское моря), расположенные в центральной части бывшего моря Тетиса, а через миллионы лет обмелеет и станет бес-

сточным также Черное море. Такой вот неумолимый ход геологического развития Земли. В рассматриваемом случае деятельность человека только существенно ускорила деградацию Аральского моря.

Однако процесс природной деградации Аральского моря не так прост, как это только что изложено нами в предыдущем абзаце. Палеогидрологическими исследованиями достоверно установлено, что эпохи пониженной увлажненности бассейна периодически сменялись многоводными эпохами. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Арал расположен в пустынях Средней Азии, в весьма большом удалении от областей его питания — высокогорного Тянь-Шаня и Памира. Все свое питание он получает от стока двух рек — Амударьи и Сырдарьи и небольшого количества атмосферных осадков (120 мм). В связи с тем, что Арал — бессточное озеро, колебания его уровня определяются, с одной стороны, объемом притока вод, с другой стороны, — объемом ее расходования на нужды национальной экономики и, в еще большей мере, на испарение. Амплитуда колебаний уровня Арала как результат водного баланса за последние полтора-два столетия составляла примерно $\pm 1,7$ м (Шнитников, 1970).

Весьма существенной особенностью Аральского бассейна является наличие к югу от низовьев Амударьи и самого Арала Сарыкамышской депрессии, глубина которой превышает 100 м. Сарыкамышская депрессия соединяется с Амударьей несколькими рукавами, представляющими *бифуркацию* дельты этой реки. В эпохи многоводий воды Амударьи, не вмещаясь в основном русле, направлялись по упомянутым рукавам в Сарыкамышскую депрессию. В эпохи длительных многоводий депрессия переполнялась, и избыток вод устремлялся из нее в сторону Каспия по речному руслу Узбоя (ныне сухому).

На основе археологических исследований в низовьях Амударьи, на побережье Арала, а также в Сарыкамышской депрессии и вдоль Узбоя и изучения многочисленных исторических источников установлено, что многоводные эпохи имели место: в конце III тысячелетия до н.э., в конце I тысячелетия до н.э., в XIV-XVI столетиях н.э.

К эпохам пониженной увлажненности бассейна Арала относятся: конец IV тысячелетия и первая половина III тысячелетия до н.э.; вторая половина II тысячелетия и первая половина I тысячелетия до н.э.; I тысячелетие и начало II тысячелетия н.э.

В эпохи пониженной увлажненности происходило весьма значительное усыхание Аральской котловины, и уровень Арала снижался на 10-15 м.

Н.Г. Бродская (1952), изучая донные осадки Арала, установила, что в пределах его акватории с относительно малыми глубинами

(до — 10-15 м) на глубине 25-30 см от поверхности дна моря почти повсеместно залегает так называемый «гипсоносный горизонт», к которому приурочены раковины моллюска *Cardium edule* (они встречаются только в этом горизонте). Раковины весьма многочисленны и отличаются карликовыми размерами, что указывает на повышенную по сравнению со средними условиями соленость воды, т.е. не 10-15%, а до 30%.

Образование слоя с $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ благодаря повышенной солености воды и приуроченности именно к этому горизонту большого количества мелких раковин *Cardium edule* дают основание утверждать, что уровень моря в эпоху образования этого слоя был значительно ниже среднего. Так как гипсоносный слой находится на глубине 10-15 м, величина понижения составляла 10-13 м (так как до 1962 г. уровень воды в Арале составлял примерно 53 м, минимальный уровень при понижении мог достигать абсолютной отметки 40-43 м).

Деятельность человека нарушила природную ритмичность водности Арала и в целом резко ускорила его деградацию. По крайней мере, за последние два тысячелетия зеркало воды Арала неоднократно снижалось на 10-15 м в результате разрушения земельных дамб вдоль левого берега Амударьи в Хорезме, вызванное многочисленными войнами.

Сток воды часто шел по старым западным руслам в Сарыкамышскую депрессию, но население вновь восстанавливало дамбы и направляло сток по основному руслу в Арал.

С начала XVII в. Амударья уже полностью впадала в Аральское море. Лишь изредка наблюдались кратковременные паводковые прорывы ее вод на запад, однако они существенно не влияли на изменение уровня моря. Проведенными исследованиями установлено, что за последние 200 лет имели место три фазы высокого стояния и две низкого.

С 1910 по 1961 год уровень моря колебался вокруг абсолютной отметки 53 м, а в 1961 году составил 53,4 м.

С 1960 по 1970 гг. в результате интенсивного освоения новых земель в Средней Азии и Казахстане более чем в два раза увеличился водозабор из источников водоснабжения (рек и водохранилищ). В течение 1970-1985 гг. вследствие завершения строительства крупных водохранилищ степень зарегулированности стока рек Сырдарьи и Амударьи достигла соответственно 94 и 86%. В итоге приток воды в море из русла Амударьи резко сократился, а в отдельные

Таблица 3.16

Приток воды в Аральское море, км³
(по материалам Гидрометеослужбы Узбекистана)

Год	р. Амударья	р. Сырдарья	Общий приток в море	Год	р. Амударья	р. Сырдарья	Общий приток в море
1959	40,0	18,3	58,3	1975	10,0	0,6	10,6
1960	37,8	21,0	58,8	1976	10,3	0,5	10,8
1961	29,2	—	29,2	1977	7,2	0,4	7,7
1962	29,1	5,7	34,9	1978	18,9	—	18,9
1963	29,9	10,6	40,5	1979	10,9	2,9	13,8
1964	36,5	14,9	51,4	1980	8,3	—	8,3
1965	25,2	4,6	29,9	1981	5,9	—	5,9
1966	33,1	9,5	42,6	1982	0,04	—	0,04
1967	28,6	8,6	37,3	1983	2,3	—	2,3
1968	28,9	7,2	36,1	1984	7,9	—	7,9
1969	55,1	17,5	72,6	1985	2,4	—	2,4
1970	28,7	9,8	38,6	1986	0,4	—	0,4
1971	15,3	8,1	23,5	1987	10,0	—	10,0
1972	15,5	6,9	22,4	1988	16,0	7,0	1,0
1973	33,4	8,9	42,3	1994	21,7	8,9	30,6
1974	6,2	1,9	8,1	1995	5,1	5,2	10,3
				1996	7,46	5,10	12,56

годы (1982, 1986) практически прекратился, из русла Сырдарьи не было стока с 1981 по 1987 год (табл.3.16).

В результате произошло резкое и прогрессирующее снижение уровня воды в Аральском море (табл. 3.17).

Таблица 3.17

Динамика изменения параметров Аральского моря
(Национальный доклад, 1998)

Годы	Уровень, абс.отм., м	Объем воды, км ³	Площадь акватории, тыс. км ²	Площадь осушенного дна, тыс. км ²
1960	53,00	1062,60	66,09	—
1989	39,33	354,00	38,40	27,03
1990	38,51	323,00	38,40	29,04
1991	37,75	299,00	34,80	31,34
1992	37,26	286,00	33,90	32,31
1993	36,94	278,00	33,90	33,02
1994	36,94	278,00	33,30	33,02
1995	36,11	250,00	32,30	33,80
1996	35,48	230,00	26,70	34,50

С конца 70-х по начало 80-х годов величина снижения уровня Арала колебалась в пределах от 0,4 до 0,7 м, во второй половине 80-х годов она увеличилась до 0,8 м. Как следует из данных табл.3.17, с 1990 по 1996 год среднегодовое снижение уровня несколько уменьшилось и составило 0,5 м. Однако здесь следует иметь в виду одно обстоятельство. Табл.3.17 позаимствована из Национального доклада Госкомитета Республики Узбекистан по охране природы (Национальный доклад, 1998). В этом докладе за 1994 год фигурирует следующая отметка зеркала Арала — 36,94 м. Однако в работе И.Каримова (1997) приведена иная цифра — 32,5 м. Авторы склонны верить именно второму варианту, так как он обнародован Президентом республики. Исходя из второго варианта, с 1990 по 1994 год среднегодовое снижение уровня воды в Аральском море составляет 1,2. Все же следует учитывать, что в табл.3.17 и данные за 1990 год возможно также завышены. Поэтому более реальной на период 1990-2000 гг. будет цифра среднегодового уровня 0,9 м. Кстати, эта цифра хорошо согласуется с данными З.Акрамова и А.Рафикова (1990), которые, исходя из аналогичных среднегодовых данных, спрогнозировали величину уровня на 2000 год 29,7 м, а на 2005 г. — 23,5.

С каждым годом проблема Аральского моря все более усложняется. И.Каримов отмечает: «Аральской катастрофой можно было управлять еще в начале 70-х годов, в худшем случае в самом начале 80-х, когда уровень моря незначительно снизился. В настоящее время управление стало чрезвычайно сложным, а в последующем этот процесс еще больше усложнится или станет вовсе неуправляемым.

В Приарале, в связи с высыханием Аральского моря, возник сложный комплекс экологических, социально-экономических и демографических проблем, имеющих по происхождению и уровню последствий международный, глобальный характер» (стр.121).

Одна страна возникшие проблемы не осилит. Их успешное решение возможно только при совместном и согласованном взаимодействии многих стран, прежде всего стран Центральной Азии. По этому вопросу в 1993 году в городах Ташкенте и Кзыл-Орде, в 1994 году в Нукусе, в 1996 году в Ташкенте и Нукусе состоялись встречи на уровне глав государств Центральной Азии с участием представителей Российской Федерации. В 1997 году на встрече в городе Алматы глав центральноазиатских государств с участием представителей ООН, Мирового Банка и других международных организаций принято решение о совершенствовании организационных структур по решению проблем Арала — сформирован более действенный состав Международного фонда спасения Арала и на его базе мобильный Исполнительный комитет. В том же году в столице Узбекистана проведена первая техническая встреча, организованная Международным Фондом и Всемирным Банком, где с участием стран-доно-

ров обсуждались вопросы реализации Программы международного сотрудничества по Аральскому морю. В 2001 году по инициативе ученых Узбекистана и Украины создана общественная неправительственная организация — Международная академия биосферных наук (МАБИН), одной из задач которой является содействие решению межрегиональных экологических проблем, в том числе проблемы Арала и Приаралья (см. приложения).

Каковы же пути выхода из сложнейшей экологической и социально-экономической ситуации в регионе?

В общих чертах они определены Декларацией государств Центральной Азии и международных организаций по проблемам устойчивого развития бассейна Аральского моря, принятой 20 сентября 1995 года в городе Нукусе. Декларация предусматривает строгую приверженность принципам *устойчивого развития* и сосредоточила внимание на следующих основных направлениях: переходе к более сбалансированной системе сельского и лесного хозяйства; повышении эффективности ирригации посредством выработки экономических методов использования водных ресурсов, применение современных технологий в орошении и охране окружающей среды; усовершенствовании системы комплексного управления природными ресурсами региона.

По вопросу возможности сохранения самого Аральского моря существует несколько мнений, порою весьма противоречивых. Сторонники первой точки зрения считают, что сохранение Аральского моря как природного водоема необязательно и настаивают на расширении площади орошаемых земель в регионе с использованием последних кубометров водных ресурсов, полностью исключая приток речных вод в Арал.

Однако подобные взгляды чреваты губительными последствиями для Приаралья, прежде всего, из-за все большего и большего накопления на осушаемых территориях солей — сначала карбонатов и гипса, затем мирабилита, а впоследствии астраханита и галита. Разнос этих солей ветром выведет из сельхозоборота обширные площади орошаемых земель. Неблагоприятные изменения затронут и грунтовые воды, так как их состав согласуется с характером засоленности почв (Мурадов, 1986; Валуконис, 1989). Аридизация климата уже сегодня привела к тому, что в процесс сукцессии наблюдается следующая последовательность смены растительности: гидрофиты, мезофиты, гидрогалофиты, галофиты, ксерофиты (дельта Амударьи); галофиты, галоксерофиты, псаммофиты (урочище Узункаир). Занимавшие около 760 тыс.га тростниковые заросли уже к концу 90-х годов почти полностью исчезли (Акрамов, Рафиков, 1990).

Другая группа исследователей считает, что уровень Арала необходимо форсированными темпами стабилизировать или вообще

восстановить до исходного. Однако при этом, как правило, не указывается, за счет каких вод это возможно сделать. Правда, в свое время был разработан проект переброски части стока северных и сибирских рек в южные районы. Согласно проекту необходимо было построить канал протяженностью 2500 км, шириной до 200 м и глубиной до 16 м. По нему из Оби в Среднюю Азию подавалось бы 27 км³ воды в год. Однако в 1986 году Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР работы по проекту были полностью прекращены.

Третья группа исследователей считает, что уровень Арала можно и нужно сохранить на определенной абсолютной отметке. В частности, З.Акрамов и А.Рафиков предлагают создать каскад водоемов в пределах южной и восточной частей высохшего дна Аральского моря на абсолютных отметках 53-43 м, от мыса Улькунтумсук на восточном *чинке* Устюрта до устья Сырдарьи, а также отдельные водоемы в пределах абсолютных отметок 48-50, 45-48 и 43-45 м. Однако для заполнения этих водоемов потребуется не менее 10-15 лет.

Р.У. Бекназов и Ю.В.Новиков (1995) указывают, что при уровне высоты воды в Арале 38-39 абс.м он может стабилизироваться только в том случае, если приток в море увеличится до 30-35 км³ в год, т.е. до уровня испарения с новой площади моря. Однако даже самые оптимистические прогнозы обещают довести приток к 2000 году только до 15-17 км³ в год и к 2005 году до 20-21 км³/год. Поэтому при всех прогнозных вариантах уровень воды в море будет снижаться.

При этом необходимо учесть следующие зависимости, существующие между понижением уровня, площадью акватории и объемом водных масс Аральского моря (рис.3.11 и 3.12).

Из рассмотрения рис. 3.11 видно, что существует линейная зависимость между площадью акватории и объемом водных масс. Это, в свою очередь, означает, что при любых понижениях уровня воды в Арале относительная доля испаряемости в его водном балансе остается неизменной.

Следствием анализа рис. 3.12 является вывод о том, что примерно до уровня изобат 22-24 м объем водных масс резко уменьшается, а затем постепенно стабилизируется. Поэтому именно на этом уровне и следует проектировать уровни воды в водоемах в пределах акватории Аральского моря.

Однако наиболее действенными мерами по эффективному решению проблем Арала, по мнению многих ученых, является введение более рационального водопользования (укрепление русел каналов, использование специальной поливной техники, выбор оптимальных режимов полива и т.п.). Ведь в настоящее время непроизводительно теряется около 60-70% воды, идущей на орошение. Сэкономленная вода могла бы существенно поправить «здоровье» Аральского моря.

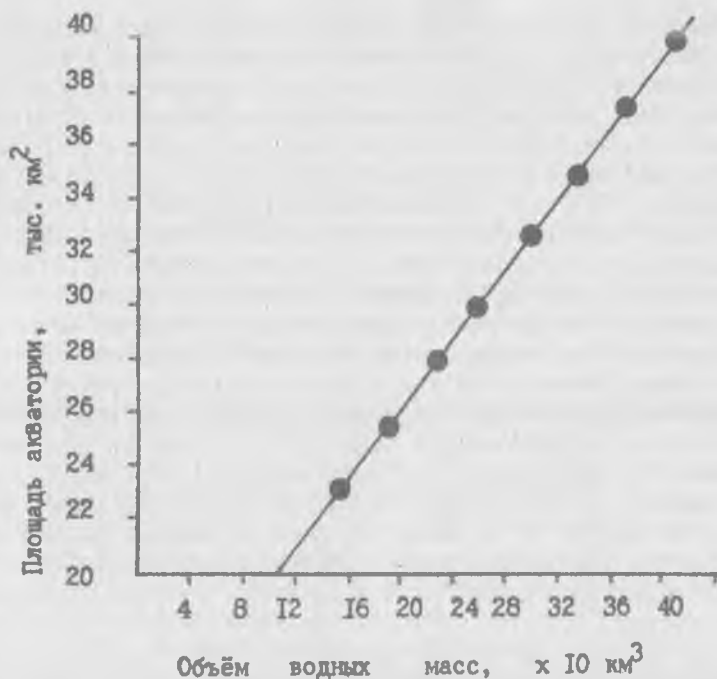


Рис.3.11. Зависимость объема водных масс от площади акватории Аральского моря (для изобат 13-20 м)

Как в плане решения Аральской, так и других межрегиональных экологических проблем, особое значение имеет концепция устойчивого развития, принятая ООН в 1992 году на международной конференции по окружающей среде и развитию, проводившейся в городе Рио-де-Жанейро. Конференция, в которой принимали участие президенты и премьер-министры 179 стран, приняла ряд деклараций и конвенций. Как отмечается в этих исторических документах, поскольку значительная часть природных ресурсов Земли исчерпана, а экологическая ситуация становится все более неблагоприятной, следование человечества прежним путем развития неприемлемо. Поэтому ставится задача перехода к устойчивому развитию во всем мире, при котором удовлетворение жизненных потребностей нынешнего поколения обеспечивается при условии сохранения подобной возможности для будущих поколений. В декларации, принятой в Рио, заявляется, что единственный путь обеспечения долгосрочного экономического прогресса — это его увязка с охраной окружающей среды.

Весьма интересны в этом отношении применительно к проблемам Арала и Приаралья научные разработки Н.Р.Хамраева с соавторами (1998). Сравнивая различные мероприятия, обеспечивающие повышение гарантированных ресурсов по величине капитальных затрат на единицу получаемой воды, они пришли к выводу, что удельные показатели территориального перераспределения стока соизмеримы с показателями других способов, о чем свидетельствуют данные, приведенные в табл.3.18.

Основываясь на приведенных выше данных, Н.Р. Хамраев с соавторами выдвинули идею о возможности создания Единой Азиатской водохозяйственной системы (ЕАВХС), которая предусматрива-

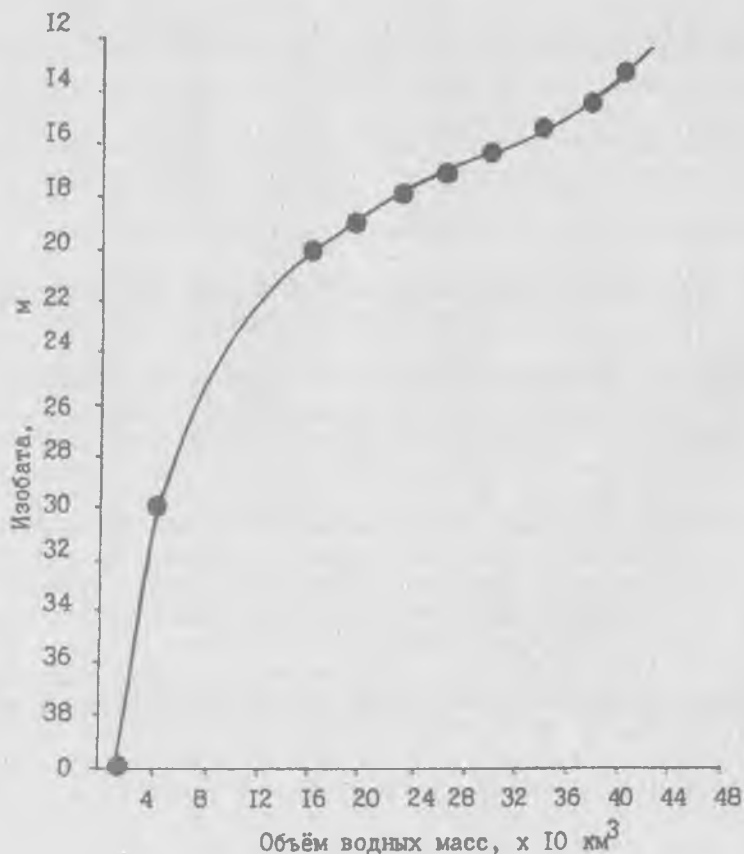


Рис.3.12. Зависимость объема водных масс Аральского моря от изобат (абсолютной отметки зеркала воды)

Удельные показатели дополнительных источников воды
(Хамраев и др., 1998)

Способ получения дополнительной воды	Капиталовложения, млн долл США на 1 км ³
Регулирование речного стока водохранилищами	50—80
Очистка промышленных сточных вод	100—150
Реконструкция оросительных систем	700—900
Опреснение методом дистилляции	600—1600
Опреснение мембранным способом	100—700
Территориальное перераспределение водных ресурсов	300—1000

ет соединение бассейна реки Сырдарьи на севере с реками бассейна Карского моря, реки Амударьи на юге с бассейнами рек Аравийского моря, а для сохранения Аральского моря — возможную переброску части вод Каспия. Авторы ЕАВХС считают, что возникла насущная необходимость в совместном исследовании данной проблемы и разработке концепции проектов по межгосударственному совместному использованию части свободного стока многоводных рек.

3.10. АТМОСФЕРА КАК ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА И ЕЕ ЭВОЛЮЦИЯ

Понятие «*атмосфера*» в настоящее время применяется как в смысле газообразной оболочки Земли, так и в смысле компонента биогеоценоза — слоя воздуха в подпочве, почве и над ее поверхностью, в пределах которого наблюдается взаимное влияние компонентов биогеоценоза.

В данном подразделе атмосфера рассматривается в качестве геоферы, состоящей из смеси различных газов, водяных паров, пыли (аэрозолей) и микроорганизмов. Атмосфера, в свою очередь, подразделяется на пять сферических вертикальных зон: *тропосферу*, *стратосферу*, *мезосферу*, *термосферу* и *экзосферу*.

Тропосфера примыкает непосредственно к земной поверхности. Она содержит до 80% всей массы атмосферы (включая водяной пар), в нижней ее части сосредоточена вся наземная жизнь на планете. В тропосфере воздушные массы интенсивно перемешиваются как по вертикали, так и по горизонтали, в ней происходят основные метеорологические процессы, поэтому она получила название «*кухни погоды*». Верхней границей тропосферы является *тропопауза* — область, в которой температура перестает понижаться (в целом температура с высотой понижается на 6,5°C на каждый километр и у

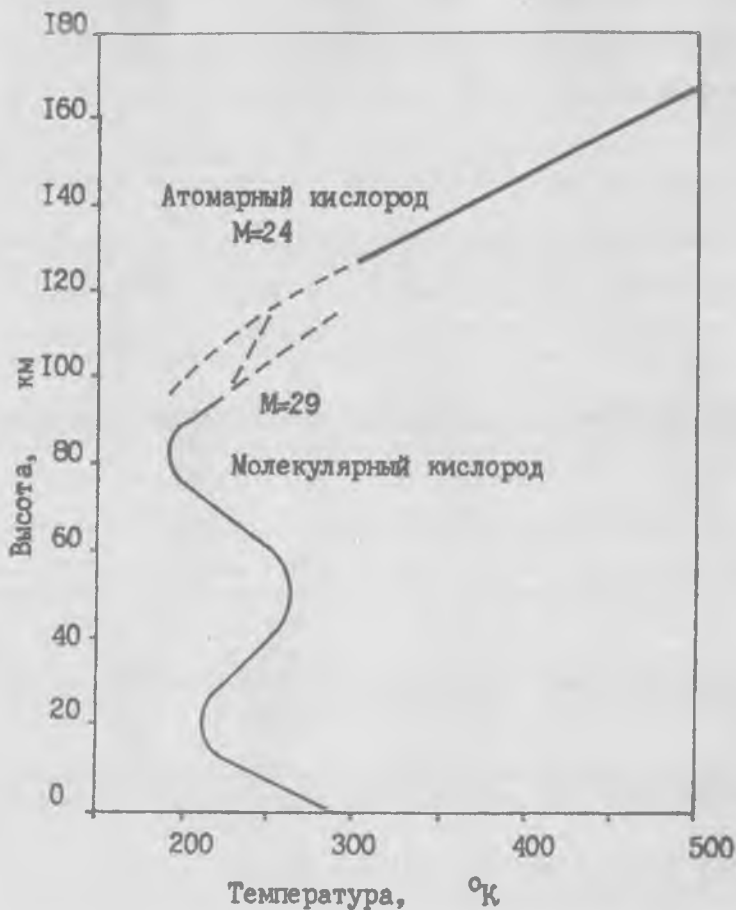


Рис.3.13. Вертикальное распределение температур в атмосфере по данным ракетных наблюдений (по Мияки, 1969)

верхней границы падает до -85°C). В среднем тропопауза располагается на высоте 11 км, над экватором ее высота составляет 18 км, над полюсами - 8 км. Температурная характеристика тропосферы и вышележащих слоев дана на рис. 3.13.

Выше тропопаузы примерно до высоты 50-55 км расположена стратосфера. Нижняя ее часть характеризуется почти постоянной температурой в умеренных и полярных широтах (от -45 до -75°C в зависимости от времени года), с высотой она резко возрастает (в среднем на $0,6^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 м) и на уровне верхней границы в

среднем равна 0°C (с колебаниями от -20 до $+20^{\circ}\text{C}$). Преобладающие ветры (нередко сильные, до 100 м/с, и малая облачность) — западные, летом выше 20 км — восточные. На высоте $22-25$ км расположен слой максимальной концентрации озона. Верхней границей стратосферы является *стратопауза* — область, в которой температура достигает максимальных значений и в дальнейшем начинает понижаться.

За стратопазой следует мезосфера, термосфера и экзосфера, которые часто объединяются под общим названием *ионосфера*.

Мощность мезосферы составляет $20-25$ км, температура в ней с высотой падает от 0°C до -90°C . Мезосфера — область формирования *серебристых облаков*. Верхняя граница мезосферы — *мезопауза* — находится на высоте $80-95$ км.

Выше (от 90 до 800 км) расположена термосфера. Она характеризуется быстрым ростом температуры до высот $200-300$ км (до $1000-2000^{\circ}\text{C}$) и сохранением ее постоянной до практических пределов атмосферы.

Термосфера переходит в экзосферу — оболочку с высокой температурой (около 2000°C) и крайне разреженным воздухом. Верхняя граница экзосферы (и атмосферы в целом) находится на высоте $1300-1500$ км. Выше ее состав приближается к составу межпланетного пространства. Ничтожная плотность воздуха и очень высокая его температура делают длину среднего свободного пути частиц столь значительной, что они могут без столкновения с другими частицами вылетать из атмосферы со второй космической скоростью. Часть ускользающих заряженных частиц удерживается *магнитосферой*. Рассеивание газов в космическое пространство все же идет достаточно интенсивно. Кроме водорода и гелия происходит утечка и других газов (до 50 тыс. т кислорода в год и т.п.).

Вся зона ионосферы уже с высоты $50-60$ км состоит из ионизированного под действием ультрафиолетового излучения воздуха, обладающего способностью проводить ток. Кроме того, ионосфера способна отражать радиоволны, и это ее свойство используется в практике радиосвязи.

Ионы могут образоваться также в тропосфере и стратосфере (под воздействием радиоактивного излучения и космических лучей). Легкие ионы с отрицательным зарядом положительно действуют на организм. В городах, где воздух загрязнен, количество легких ионов в атмосфере значительно меньше; здесь доминируют тяжелые ионы, заряженные положительно.

Масса атмосферы оценивается величинами от $5,15 \cdot 10^{15}$ до $5,9 \cdot 10^{15}$ т или около $0,0001\%$ массы всей Земли. Масса 1 м³ сухого воздуха при 0°C на уровне моря равна 1293 г. На каждый квадратный сантиметр земной поверхности приходится 1033 г воздуха.

Длительное время считалось, что воздух, составляющий атмосферу, является простым веществом, и только в XVIII веке французский ученый Лавуазье доказал, что он является механической смесью газов.

Сведения о составе атмосферы приведены в табл.3.19

Таблица 3.19

Приблизительный состав атмосферы (по Реймерсу, 1990)

Элементы и газы	Содержание в нижних слоях атмосферы, %	
	по объему	по массе
Азот	78084	75,5
Кислород	20,946	23,14
Аргон	0,934	1,28
Неон	0,0018	0,0012
Гелий	0,000524	0,00007
Криптон	0,000114	0,0003
Водород	0,00005	0,000005
Углекислый газ	0,034	0,0466
Водяной пар:		
в полярных широтах	0,2	—
у экватора	2,6	—
Озон:		
в тропосфере	0,000001	—
в стратосфере	0,001-0,0001	—
Метан	0,00016	0,00009
Окись азота	0,000001	0,0000003
Окись углерода	до 0,000008	0,0000078

Таким образом, главными компонентами атмосферы являются азот, кислород, аргон и углекислота, составляющие 99,99% сухого воздуха. К малым составным частям атмосферы относятся озон, водород и инертные газы. Переменными газовыми компонентами являются окиси азота и углерода, а также не указанные в табл.3.19 окислы серы, аммиак и некоторые другие соединения промышленного происхождения.

Важной составной частью атмосферы, особенно с позиций возможности существования жизни на суше, является *атмосферная влага*.

При слабом дожде, например, при выпадении 2-3 мм осадков, на каждый квадратный метр поверхности Земли приходится 2-3 кг воды, а на 1 га — 20-30 т. Полное обновление состава водяных паров в атмосфере происходит за 9-10 дней, т.е. атмосферная влага является самым активным звеном круговорота воды в природе. Оптимальная для человека влажность воздуха 40-60%. Сухой воздух при всех прочих условиях (температура, ветер) переносится лучше, чем влаж-

ный; повышение влажности неблагоприятно, так как при высокой температуре оно способствует перегреванию организма, а при низкой (особенно в сочетании с ветром) — его переохлаждению.

Особое место в составе атмосферы занимают мельчайшие твердые частицы — *пыль* различного происхождения: естественная, в том числе и космическая, и антропогенная — индустриальный дым, продукты взрывов, пыль терриконов и т.п. Особенно много мелких пылеватых частиц выбрасывается в атмосферу при извержении вулканов, что иногда имеет глобальные климатические последствия. Так, после извержения в 1815 г. вулкана Тамбора (Индонезия) 1816 г. был назван «годом, когда пропало лето». Среднегодовая температура в Северном полушарии понизилась на один градус, а в Канаде июнь был отмечен заморозками и снегопадами. Аналогичные глобальные климатические последствия отмечены и после извержения вулкана Кракатау в 1883 г., взрыв которого выбросил в верхние слои атмосферы огромное количество (53 км^3) пыли. Именно этим обстоятельством некоторые авторы объясняют тот факт, что восьмидесять лет прошлого столетия были намного холоднее предыдущих двух десятилетий.

В воздухе содержится также много различных микроорганизмов (бактерии, плесневые грибки, споры). В подавляющем большинстве они относятся к сапрофитам.

По утверждению В.И.Вернадского, газовая оболочка Земли есть создание жизни. Прежде всего это относится к атмосферному кислороду, который первоначально образовался в результате процессов фотосинтеза, механизм которого «освоили» морские водоросли. Накопление кислорода, в свою очередь, позволило выйти жизни на сушу.

А.И. Тугаринов (1973) считает, что вся современная атмосфера есть по существу порождение двух доминирующих процессов на Земле — жизни и радиоактивного распада. По мнению этого автора, дефицит гелия и редких газов в атмосфере подтверждает предположение о том, что на ранней стадии своего существования Земля не могла удержать первичную газовую оболочку, поэтому современная атмосфера Земли является вторичным образованием.

Однако по этому вопросу существуют и другие мнения. Вообще говоря, реконструкция физических параметров и химического состава древней атмосферы Земли — задача куда более сложная, чем восстановление параметров и состава других геосфер.

Атмосфера — наиболее подвижная оболочка Земли (как в физическом, так и в химическом отношении). Поэтому вопросы ее эволюции нельзя решить узкоспециализированным подходом без учета взаимодействий с другими оболочками и знания закономерностей круговорота веществ вообще. Упрощенный подход — тупиковый.

Его ошибочность покажем на примере некоторых работ такого крупного и уважаемого исследователя как Ф.Я.Сапрыкин (1978, 1984).

По данным этого автора, содержание кислорода в растениях превышает его концентрацию в атмосфере примерно в 2 раза. Отсюда напрашивается вывод (исходя из принципа актуализма), что по элементарному составу ископаемых растений можно реставрировать состав древней атмосферы. Ф.Я.Сапрыкин приводит следующие данные (табл.3.20).

Таблица 3.20

Средний элементарный состав остатков растений различных эпох углеобразования и предполагаемое изменение содержания кислорода в атмосфере

Возраст	W%, %	As, %	V%, %	Элементарный состав растений, % на органическую массу				Содержание O ₂ в атмосфере, %
				C	H	N	O	
Девон	20,0	8,51	70,5	80,39	8,96	1,70	8,95	4,5
Ранний карбон	1,20	17,30	33,1	82,80	5,30	1,70	10,20	5,1
Пермь	—	—	—	80,06	4,94	1,75	13,25	6,6
Палеогеннеоген	9,00	6,50	—	65,33	5,60	1,20	27,87	14,0
Четвертичный	8,37	6,85	—	58,74	5,64	1,20	34,42	17,2
Современный	—	—	—	51,48	6,22	1,20	41,10	20,75

Из рассмотрения данных этой таблицы видно, (это выводы Ф.Я. Сапрыкина, а не наши), что содержание кислорода в атмосфере от девона до перми возросло всего на 32%, от перми до палеогена — в 2,1 раза, и от палеогена до настоящего времени — в 1,5 раза.

В данном случае мы являемся свидетелями пороков узкоспециализированного подхода к решению проблемы, когда осознанно или неосознанно игнорируются достижения смежных научных дисциплин, в данном случае, теории углеобразования.

Все дело в том, что с возрастанием степени углефикации органического вещества содержание кислорода в нем падает, а при выветривании углей оно, наоборот, возрастает. Содержание кислорода не зависит от исходного материала углей: количество его примерно равно в гумитах, липтитах и сапропелитах одинаковой степени углефикации (Муратов, 1970, стр.78). Таким образом, содержание кислорода в ископаемом органическом веществе не является диагностическим признаком количества кислорода в атмосферах геологического прошлого Земли.

А.И. Тугаринов (1973), ссылаясь на работу К.И.Игнатовича (1952), приводит следующую таблицу (3.21).

Содержание функциональных групп в углях, в % от содержания общего кислорода в углях

С	Функциональные группы			
	COOH	ОСН ₂	ОН	C=O
65,2	9,0	0,4	10,2	4,7
69,9	3,6	0,9	9,6	3,9
74,6	1,5	0	8,1	2,7
77,3	1,2	0	8,0	2,9
80,0	0,5	0	7,0	1,3
82,8	0,1	0	1,2	0,6
85,0	0	0	0,4	0,35
89,7	0	0	0,1	0,55
90,3	0	0	0	0,5
92,8	0	0	0	0,4

Из рассмотрения данных этой таблицы видно, что в процессе углефикации в погребенных растительных остатках закономерно возрастает содержание углерода и снижается содержание кислорода и водорода, в основном определяемое потерей различных функциональных групп. При этом быстрее всего теряется функциональная группа — ОСН₂, а наиболее стойкой оказывается группа C=O.

Многие авторы допускают, что древняя атмосфера Земли была более плотной, чем в настоящее время, и преобладающим компонентом в ней был углекислый газ. Такой вывод напрашивается из-за наличия на Земле мощных толщ осадочных карбонатов и захороненного органического вещества. Если перевести углерод этих отложений в СО₂, то получим углекислую атмосферу, давление которой на поверхность планеты составит 4-5 МПа (именно такую атмосферу имеет Венера, ее газовая оболочка как бы моделирует древнюю атмосферу Земли).

Однако ряд авторов (Г. Юри и др.) считают, что в догеологический период существования нашей планеты ее атмосфера отличалась не только меньшей плотностью, но и обладала восстановительным характером. Сравнение с планетами-гигантами (Юпитер, Сатурн) позволяет думать, что аналогичным этим планетам был и первичный состав земной атмосферы, т.е. с доминирующей распространенностью в ней СН₄, NH₃ и в меньшей мере Н₂, Н₂O, СО, СО₂, HCl и др.

Эволюция атмосферы теснейшим образом сопряжена с эволюцией гидросферы и типов литогенеза (Ходьков, Валукоис, 1968). Общая схема ее эволюции представлена в табл.3.22.

Таблица 3.22

Эволюция состава атмосферы (Ходьков, Валуковис, 1968)

Этап	Состав
Возникновение верхних оболочек	CO ₂ , CH ₄ , H ₂ , N ₂ , инертные газы, возможно, следы свободного O ₂ .
Азойский, > 4,5·10 ⁹ лет	CO ₂ , N ₂ , CH ₄ , H ₂ S, инертные газы, возможно, следы свободного O ₂ .
Археозойский, 4,5·10 ⁹ —2,5·10 ⁹ лет	N ₂ , CO ₂ , инертные газы, следы свободного O ₂ .
Протерозойский-рифейский, 2,5·10 ⁹ —0,5·10 ⁹ лет	N ₂ , O ₂ , мало CO ₂ , инертные газы, возрастает роль метаморфогенных газов
Исторический (фанерозойский), <0,5·10 ⁹ лет	N ₂ , O ₂ , инертные газы, доли процента CO ₂

Оригинальную схему эволюции химического состава атмосферы приводит Б. Мейсон (1971). Схема этого автора иллюстрируется табл. 3.23.

Таблица 3.23

Сводка данных о вероятном химическом составе атмосферы по стадиям ее эволюции

Компоненты	Стадия		
	1	2	3
Основные, P > 10 ⁻³ МПа	CH ₄	N ₂	N ₂
Второстепенные, 10 ⁻³ > P > 10 ⁻⁵ МПа	H ₂ (?) H ₂ (?) H ₂ O N ₂ H ₂ S NH ₃ Ar	H ₂ O CO ₂ Ar	O ₂ Ar H ₂ O CO ₂
Рассеянные, 10 ⁻⁵ > P > 10 ⁻⁷ МПа	He	Ne He CH ₄ NH ₃ (?) SO ₂ (?) H ₂ S(?)	Ne He CH ₄ K

По Б. Мейсону, длительность первой стадии определялась промежутком времени между агрегацией Земли и образованием ядра путем выделения металлического железа из мантии. Длительность стадии — около 0,5·10⁹ лет. Во вторую стадию атмосфера состояла в

основном из азота с примесью CO_2 и H_2O . Фотохимическое разложение водяного пара в верхних слоях атмосферы приводило к образованию водорода и кислорода. Водород диссипировал во внешнее пространство, а свободный кислород тут же окислял восстановленные компоненты вулканических газов. Третья стадия началась, когда образование кислорода стало превышать его использование, что стало возможным с бурным развитием фотосинтезирующих водорослей где-то 1,7-2,0 млрд лет назад. Уже 1,2 млрд лет назад в атмосфере было достаточно кислорода, чтобы могли образоваться красноцветные толщи (континентальные осадочные породы, окрашенные окислами железа).

Кратко рассмотрим экологическое значение эволюции некоторых компонентов атмосферы.

С позиций возникновения и эволюции жизни, несомненно, одним из важнейших компонентов является двуокись углерода.

Нормальное количество этого газа в воздухе — всего 0,0032% (по объему) или 0,57 мг/л. В светлое время суток над фитоценозами оно может уменьшиться в среднем на 10-20%, а в тропическом поясе — в 3-4 раза. Вся углекислота, содержащаяся в атмосфере, усваивается живыми организмами за 300-400 лет.

Масса углекислого газа в атмосфере оценивается в $2 \cdot 10^{12}$ т. Около $1,1 \cdot 10^{11}$ CO_2 непрерывно находится в обменном состоянии между атмосферой и океаном. Поверхностные слои океана обмениваются углекислым газом за 5-25 лет, глубинные — за 200-1000 лет. В океане углекислого газа в 60 раз больше ($1,3 \cdot 10^{13}$ т), чем в атмосфере. Вследствие того, что CO_2 лучше растворяется в холодной, а не теплой воде, Мировой океан действует как гигантский насос, который, поглощая углекислый газ в холодных областях, переносит его и отдает в атмосферу тропиков (Сытник и др., 1987).

В древесной массе фитоценозов запасено $0,5 \cdot 10^{12}$ т углерода. Лес генерирует в среднем 400-500 мг CO_2 на 1 м^2 в час. Растения ежегодно поглощают из атмосферы $0,17 \cdot 10^{12}$ т CO_2 .

На фотосинтез одной тонны органического вещества уходит 1,5-1,8 тонны CO_2 и высвобождается 1,1-1,3 тонны O_2 . Считается, что растения ежегодно создают до 100 млрд т органических веществ. При этом они расходуют 130 млрд т воды, выделяя 155 млрд т кислорода.

Однако основная масса органического углерода сосредоточена в ископаемом органическом веществе, заключенном в осадочных горных породах. Если принять, что масса земной коры в интервале глубин 0 — 33 км равна $5 \cdot 10^{25}$ т, а средняя мощность осадочного слоя равна 3 км (Ершов и др., 1986), то масса осадочных горных пород составит $1,4 \cdot 10^{24}$ т. На каждый метр толщи осадков приходится 20 мм $\text{C}_{\text{орг}}$ или 2% (по Н.Б. Ваесовичу). Следовательно, масса захоро-

ненного органического вещества оценивается цифрой порядка $1-3 \cdot 10^{22}$ т. По Дж.М. Андерсону (1985), около 99% углерода находится в осадочных породах, в частности в виде карбонатов, и только менее 1% его содержится в биосфере.

Деятельность человека (сжигание топлива и т.п.) ежегодно вносит в атмосферу не менее $1 \cdot 10^{10}$ т CO_2 . Мейсон прогнозирует, что при современных темпах использования ископаемого топлива количество CO_2 в атмосфере удвоится через триста лет, что чревато катастрофическим глобальным потеплением, обусловленным проявлением «парникового эффекта».

Какова «первичная» природа CO_2 ? Я.Мияки (1969) отмечает, что двуокись углерода не установлена в атмосферах постоянных звезд и внешних планет Солнечной системы, но содержится в атмосферах внутренних планет. На этом основании он высказал предположение, что углекислота может быть вторичным продуктом.

Однако не вызывает сомнения факт, что CO_2 (возможно, и CO) была главным компонентом древней атмосферы Земли, и именно живые организмы повинны в том, что двуокись углерода стала второстепенным ее компонентом. А.Г.Вологдин (1963) считает, что древнейшие водоросли примерно за два миллиарда лет извлекли колоссальные количества углекислоты, образовав на ее основе столь же колоссальные количества органических веществ; водоросли способствовали отложению на дне древних морей огромных количеств углекислого кальция и отчасти магния, и в пределах современных континентов отложили за время протерозоя карбонатные породы общей мощностью более 1000 м. В.И. Лебедев (1981), основываясь на экспериментальных данных Р. Бидвелла и Д. Фриссера (*Bidwell, Frasser, 1972*), высказал предположение, что, исчерпав запасы CO_2 , растения вынуждены были выйти на сушу, в результате чего были полностью исчерпаны содержащиеся в атмосфере запасы монооксида углерода.

А.И. Тугаринов основным источником поступления углекислоты в атмосферу считает вулканические процессы. Именно с ними он связывает постепенно возрастающее содержание углерода в земной коре и развитие биосферы. Этот вывод подтверждается данными М.И. Будыко (1982), из которых следует, что концентрация CO_2 на протяжении фанерозоя изменилась более чем в десять раз, причем она была значительно выше современной; примечательно, что максимумы количества вулканогенных пород в большинстве случаев совпадают с возросшими концентрациями углекислого газа, которые существенно повышали продуктивность автотрофных растений, а также влияли на климат планеты.

Эволюционно с углекислым газом связан кислород атмосферы.

Атмосфера, как уже указывалось выше, содержит 20,946% (по объему) O_2 . Ежегодно огромные количества кислорода расходуются

на дыхание животных и растений (в бескислородной среде могут развиваться только анаэробные бактерии), на различные природные окислительные реакции (например, при выветривании горных пород), а также на нужды промышленности. Постоянство содержания кислорода в атмосфере обеспечивается тем, что его выделяют в процессе фотосинтеза автотрофные растения (примерно 6 единиц кислорода на одну его единицу, израсходованную на дыхание). Причем 80% фотосинтетического кислорода продуцируется фитопланктоном и лишь 20% наземными растениями. В этом аспекте «легкими планеты» следует называть не леса Амазонии, а микрофлору Мирового океана.

Вся масса кислорода атмосферы живыми организмами осваивается примерно за 2000 лет, а полное его обновление происходит за 5200-5800 лет.

По данным В.И.Вернадского, масса кислорода в атмосфере составляет 10^{15} т (по некоторым данным — до $2 \cdot 10^{15}$ т). Ежегодно этот запас пополняется на 7-10-10 т за счет фотосинтеза зеленых растений (В.И. Вернадский поступление кислорода в атмосферу оценивает цифрами от 60 до 240 млрд т). Некоторая часть кислорода образуется в верхних частях атмосферы за счет разложения паров воды ультрафиолетовым излучением.

В настоящее время потребление органического топлива составляет около 10 млрд т. На его окисление требуется израсходовать 27 млрд т O_2 . Предполагается, что к 2010 году потребление органического топлива может удвоиться. Значит, потребление кислорода увеличится до 54 млрд т. А эта цифра уже близка к минимальному уровню воспроизводства кислорода за счет фотосинтеза растений (60 млрд т, по В.И. Вернадскому). Каков же выход? Несомненно, прежде всего, нужно ограничить потребление кислорода на промышленные нужды, особенно его потребление энергетическими установками.

Значительное количество кислорода растворено в природных водах. Кислородом представлен каждый четвертый атом живого вещества. Значительное количество кислорода в виде органического вещества захоронено в осадочных горных породах ($18 \cdot 10^{15}$ т, по оценке В. Руби; по нашим данным, эта цифра существенно занижена).

Поглощение кислорода организмами из внешней среды происходит всей поверхностью тела (простейшие, черви) или при помощи специальных органов дыхания — трахей (у насекомых), жабер (у рыб), легких (у позвоночных). Кислород химически связывается и переносится в организме пигментами крови — *гемоглобином* (у позвоночных), *гемоцианином* (у моллюсков, ракообразных).

Понижение содержания кислорода в воздухе до 14% является критическим для многих млекопитающих. Нормальная жизнедея-

тельность и рост корней растений, прорастание семян осуществляются при условии, если не меньше 15-25% пространства почвы занято воздухом, содержащим, в свою очередь, не менее 1-2% кислорода (Сытник и др., 1987).

По данным Я.Мияки, свободный кислород не мог изначально содержаться во внутренних частях Земли, а также в породах близ земной поверхности, так как они, в общем, проявляют низкую степень окисленности. А если бы кислород и присутствовал, то закисное железо немедленно бы перешло в окисное и едва ли осталось бы какое-нибудь количество свободного кислорода. Кроме того, кислород отсутствует в вулканических газах. Все это свидетельствует о вторичности кислорода в атмосфере. Однако, считает Я. Мияки, жизнь, а, следовательно, и свободный кислород возникли на Земле на весьма раннем периоде, так как железные руды архейской эры в большинстве своем состоят из гематита (Fe_2O_3), а архейские и более древние отложения содержат соединения трехвалентного железа.

М.И. Будыко указывает, что в фанерозое существовала тенденция к увеличению содержания кислорода в атмосфере, хотя этот рост был очень неравномерным. Первое значительное повышение количества кислорода произошло в девоне, причем его высокая концентрация была достигнута в конце девона — начале карбона. В пермском и особенно триасовом периодах количество кислорода значительно уменьшилось. Второе резкое увеличение массы кислорода произошло в конце триаса-начале юры, с середины мелового периода эта масса уменьшилась, оставаясь все же до современной эпохи на довольно высоком уровне. По М.И. Будыко, рост массы кислорода при прочих равных условиях способствовал повышению метаболизма и усилению активности аэробных организмов.

К числу важных биогенных элементов, к тому же доминирующих в атмосфере, относится азот. Однако для большинства живых организмов он является нейтральным газом. Лишь для части микроорганизмов (клубеньковые бактерии, азотобактерии, актиномицеты, сине-зеленые водоросли) атмосферный азот выступает в качестве фактора жизнедеятельности. Некоторые из этих микроорганизмов образуют доступные растениям аммиачные формы азота (процесс *аммонификации*). Аммонийные соли посредством бактерий-нитрификаторов могут подвергаться процессу *нитрификации*, продукты которого (нитратная форма азота) поглощаются корнями растений. Бактерии-денитрификаторы способны восстанавливать нитратный азот до N_2 .

Биологическая фиксация азота оценивается в 120-130 млн т в год. До 25 млн т азота в нитратной форме образуется при его абиогенной фиксации (например, при извержениях вулканов и разрядах молний).

Дискуссионен вопрос, в какой форме азот находился в первичной атмосфере Земли. Мы склонны считать, что преобладающей формой были свободные молекулы N₂. Именно в такой форме азот обнаружен на Венере и Марсе (табл. 3.24).

Таблица 3.24

Состав нижней атмосферы Марса, об.%

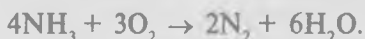
Газ	Содержание	Газ	Содержание
CO ₂	95,32	H ₂ O	0,03
N ₂	2,7	Ne	0,0025
Ar	1,6	Kr	0,0003
O ₂	0,13	Xe	0,000008
CO	0,07	O ₃	0,000003

Сторонники существования азота в протоатмосфере Земли в форме аммиака обычно ссылаются на состав атмосфер внешних планет Солнечной системы. Но, как известно, внутренние и внешние планеты резко отличаются друг от друга по многим параметрам, а не только по составу атмосфер, поэтому вряд ли подобная ссылка оправдана. Тем не менее, и такая точка зрения имеет право на существование.

Я. Мияки считает, что аммиак мог образоваться, например, по следующей реакции:



Аммиак исчез при появлении в атмосфере кислорода:



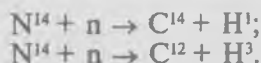
С экологических позиций существенное значение имеет присутствие в атмосфере радиоактивных изотопов (табл.3.25).

Таблица 3.25

Радиоактивные изотопы в атмосфере

Изотоп	Период полураспада	Планетарное количество
H ³	12,3 года	3,5 кг
Be ¹⁰	2,7 млн лет	430 т
C ¹⁴	5730 лет	54 т
Na ²²	2,6 года	1,2 кг
Al ²⁶	0,74 млн лет	1,7 т
Si ³²	700 лет	1,0 кг
Cl ³⁶	0,31 млн лет	15 т
Ar ³⁹	260 лет	22 кг

Эти изотопы образуются в основном в результате нейтронной бомбардировки в верхних слоях атмосферы и участвуют в геохимических циклах земного вещества. В качестве примера приведем следующие ядерные реакции:



Представим себе, что атомы изотопа C^{14} или H^3 случайно в молекуле ДНК заняли место стабильных изотопов C^{12} (C^{13}) или H^1 . Однако изотопы C^{14} и H^3 подвержены β — распаду. Например, тритий с течением времени превращается в He^3 :



Следовательно, в молекуле ДНК возникнет дефект, т.е. произойдет вредная или полезная мутация.

3.11. ЭКОЛОГИЯ ОЗОнового СЛОЯ

Выше мы уже неоднократно отмечали эколого-биологическое значение *озона*. Оно обусловлено тем, что озон активно поглощает коротковолновое ультрафиолетовое излучение Солнца и таким образом определяет температурный режим стратосферы, а также является охранным щитом биосферы от жесткого (короче 280 нм) Уф-излучения, крайне опасного для всего живого на Земле.

Рассмотрим вкратце некоторые свойства озона.

При обычных условиях озон — газ. От кислорода его можно отделить сильным охлаждением: озон конденсируется в синюю жидкость, кипящую при $-111,9^\circ\text{C}$ (кислород кипит при -183°C).

Растворимость озона в воде значительно больше, чем кислорода: 100 объемов воды при 0°C растворяет 49 объемов озона (и 4,9 объема O_2).

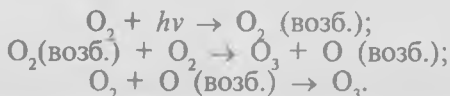
Стандартная энтальпия образования озона положительна (142,5 кДж/моль). Из трех молекул кислорода получаются две молекулы озона, т.е. энтропия системы уменьшается. В итоге стандартное изменение энергии Гиббса также положительно (163 кДж/моль). Следовательно, для перехода кислорода в озон необходима затрата энергии. Озон — вещество неустойчивое, так как при его распаде энергия Гиббса системы уменьшается.

Озон — один из сильнейших окислителей: он окисляет все металлы, кроме золота и платиновых элементов, а также большинство неметаллов; переводит низшие окислы в высшие, а сульфиды металлов — в сульфаты. В ходе большинства этих реакций молекула озона теряет один атом кислорода, переходя в O_2 .

Озон ядовит. Предельно допустимая его концентрация в воздухе равна $10^{-5}\%$. В приземном слое атмосферы содержание O_3 обычно не превышает 10^{-7} — $10^{-6}\%$, где он образуется в основном при электрических разрядах.

Озон в основном концентрируется ниже теплого слоя стратосферы в высотном интервале 20–25 км, а верхний предел его распространения где-то 45–50 км.

Образование озона происходит следующим образом. Молекулы кислорода, поглощая кванты ($h\nu$) ультрафиолетовых лучей, приходят в возбужденное состояние; сталкиваясь с невозбужденными молекулами O_2 , они дают озон и возбужденные атомы кислорода:



Озоновый слой в научной литературе еще называют *озоносферой*. Общее количество озона в атмосфере достигает $3,3 \cdot 10^9$ т. Среднее время жизни молекул озона в атмосфере — 50 суток. Среднее годовое содержание озона в озоносфере составляет около 300 *добсоновских единиц* (ДЕ); при этом одна добсоновская единица соответствует слою озона, равному 0,001 см при нормальном (стандартном) давлении и температуре. Если бы можно было весь озон вычлеть в гомогенный слой, то его толщина не превышала бы 0,17—0,40 см.

В последнее десятилетие широко дискутируется тревожный вопрос: на планете снижается содержание озона, в защитном озоновом слое периодически проявляются «дыры» — области с предельно низким содержанием озона. Впервые такая «дыра», по площади равная территории США, была установлена над Антарктидой.

В настоящее время считается, что активная роль в разрушении озонового слоя принадлежат окислам азота, галогенам, фреонам, окислам тяжелых металлов и др. В литературе приводятся данные, что около 70% озона разрушается по азотному циклу, 17% — по кислородному, 10% — по водородному, около 2% — по хлорному и другим циклам и около 1,2% поступает в тропосферу (Бекназов, Новиков, 1995).

Однако главными «разрушителями» озона многими авторами признаются галойдзамещенные углеводороды, в технике именуемые *фреонами*. Считается, что под воздействием ультрафиолетового излучения химические связи в молекулах фреонов нарушаются. В итоге выделяется хлор, который при столкновении с молекулой озона «выбивает» из нее один атом кислорода, превращая ее в обычную молекулу кислорода. Хлор, временно соединяясь с кислородом, вскоре опять оказывается свободным, продолжая свою разрушительную деятельность. Правда, этот механизм в значительной мере гипотетичен.

Колебания содержания озона в атмосфере одни авторы связывают с естественными процессами (циркуляция воздушных потоков, влияние магнитного поля и т.п.), другие, как отмечено выше, с антропогенными воздействиями. В связи с этим появилось много публикаций, иногда сенсационно-спекулятивного характера. Повидимому, не без основания некоторые авторы ажиотажный интерес к озоновым «дырам» объясняют конкурентной борьбой фирм, в частности, попытками дискредитировать товары и технологии, основанные на использовании фреонов.

В то же время исследование, проведенные такой авторитетной организацией как НАСА (США), хотя и подтвердили значительное снижение содержания озона в стратосфере, за счет поступления в нее разрушающих озон веществ, но все же позволили сделать вывод о том, что это снижение сопоставимо с естественными изменениями содержания озона в периоды между пиками солнечной активности.

Мы еще десять лет назад высказали мнение, что для правильного понимания процессов, протекающих при участии атмосферного озона, нужно рассматривать его геохимическую историю в два этапа — до и после широкого промышленного применения фреонов (Валуконис, 1990).

Так вот, существенные колебания содержания озона в атмосфере были известны еще до широкого использования фреонов (первые получены в 1928 г.), которые в холодильниках широко применяться начали после Второй мировой войны; пик производства фреонов пришелся на 1987-1988 гг. и составил около 1,2-1,4 млн т).

Еще в довоенные годы Лежей (*Lejay*, 1937) наблюдал увеличение содержания озона близ антициклонов. Линдемман (*Lindemann*, 1939) установил обратную зависимость между содержанием озона и влажностью воздуха. Ряд авторов указали на заметные сезонные колебания озона: в северном полушарии максимальное его содержание наблюдается весной, минимальное — осенью. Максимальная концентрация озона может измениться почти в два раза в течение нескольких месяцев (рис.3.12).

Когда говорят об озоновых «дырах» над полюсами, вольно или невольно умалчивают о давно установленной закономерности в меридиональном распределении содержания озона. Эта закономерность заключается в следующем: мощность озонового слоя при нормальных температуре и давлении меньше всего в экваториальной области — всего 0,17 см (по идее, здесь содержание озона должно быть наивысшим в связи с максимальной солнечной радиацией в данной области), возрастает в более высоких широтах (до 0,3-0,4 см), затем опять понижается к полюсам. Таким образом, озоновой «дырой» можно считать и экваториальную область. Ничего противоестественного здесь нет, как и в «дырах» над полюсами.

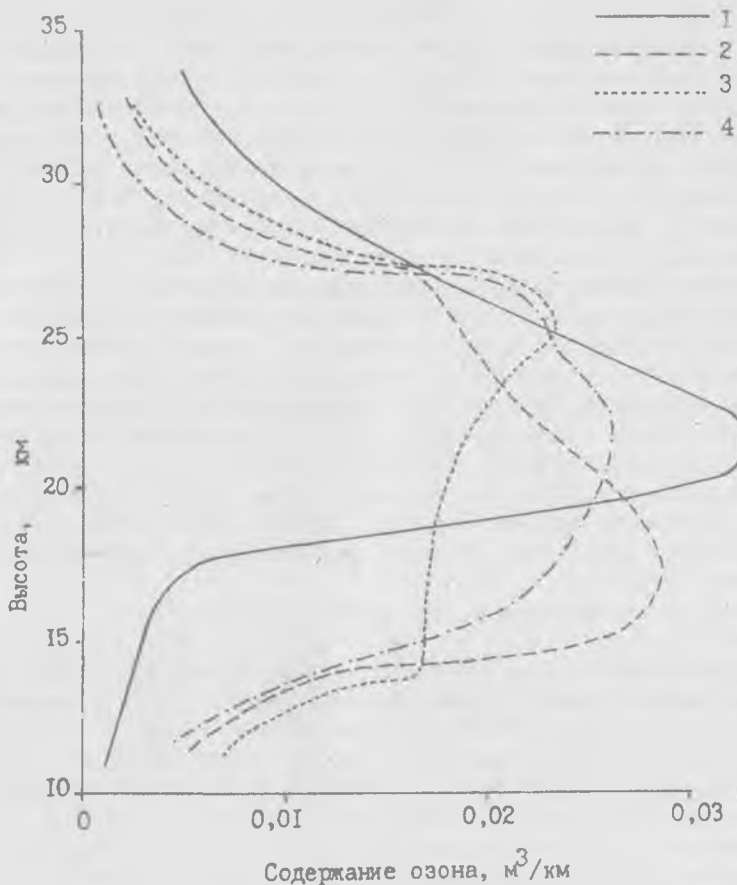


Рис.3.14. Вертикальное распределение озона в атмосфере над Нью-Мексико (Regener, 1950):

Даты замера: 1—25 февраля; 2—4 марта; 3—16 марта; 4—18 апреля

Наличие таких «дыр» свидетельствует о восходящих потоках воздуха из тропосферы в стратосферу, проникающих за тропопаузу, что приводит к их контактированию с озоновым слоем. При этом происходит уменьшение его мощности и частичное уничтожение озона компонентами восходящих потоков. В умеренных широтах воздушные течения имеют горизонтальный характер и распространяются в пределах нижней стратосферы в направлении полюсов; в более высоких широтах они вновь опускаются в тропосферу.

По мнению Брюера (*Brewer, 1949*), скопление озона в высоких широтах является результатом *адвекции* озона из экваториальной области, а весенний максимум и осенний минимум обусловлены наложением сезонных колебаний, вызванных общим характером циркуляции (значительной летом и небольшой зимой) на сезонные колебания радиации (мощной в летнее солнцестояние и слабой в зимнее).

Для научного понимания возможной геохимической роли фреонов в верхних слоях атмосферы необходимо также учитывать химические и физические свойства этих соединений.

Фреоны относятся к числу производных углеводородов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода замещены галогеном (фтором, хлором, бромом, иодом). В целом галоидпроизводные являются весьма реакционно способными соединениями и поэтому широко используются для различных синтезов.

Однако фторуглеводороды (фреоны или *хладоны*), в отличие от других галоидпроизводных, характеризуются высокой химической инертностью, устойчивы к окислителям, не горючи, даже расплавленный металлический натрий разлагает их только при температуре 400°C. По своей химической устойчивости высокомолекулярные перфторуглероды напоминают благородные металлы и порой превосходят их.

Среди физических свойств фреонов отметим их плотность: фреоны на 10–20% тяжелее воздуха, поэтому как и углекислый газ накапливаются в нижних слоях атмосферы. К тому же фторуглеводороды до настоящего времени не обнаружены в нижних слоях стратосферы, примыкающих к озоновому слою. Их «наличие» только предполагается.

Если исходить из фреоновой гипотезы разрушения озона, то озоновые «дыры» следовало бы ожидать, прежде всего, над США (около 35% производства всех хлорфторуглеводородов в 90-е годы) и Западной Европой (около 40% производства ХФУ, в основном в странах ЕЭС). Однако именно здесь в стратосфере наблюдается полноценный озоновый слой, а «дыры» в нем приурочены к полярным областям, где производство ХФУ и их использование полностью отсутствуют.

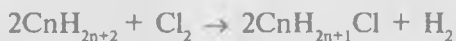
Что касается природы самих «дыр», то профессор А.П. Капица считает, что они возникали до того, как их впервые обнаружили (Павлов А. Не потонем — так заведем. — Рабочая газета, 23.12.1997, с.4). По его данным, кривая изменения количества озона в атмосфере хорошо согласуется с кривой солнечной активности (сопоставьте с данными НАСА).

Та же газета 20 октября 1998 года опубликовала статью И. Шатовой под названием «Читая летописи полярных ледников, наши

ученые узнали тайну озоновой дыры». Автор статьи сообщила сенсационную новость: «На острове Галиндез, недалеко от украинской станции «Академик Вернадский» экспедиция обнаружила ледник. Часть его откололась и рухнула в море: тысячелетний лед практически оказался на поверхности. А между частицами льда остаются пузырьки воздуха как замороженный свидетель древней эпохи. Вот в этих пузырьках и были обнаружены природный фреон и подобные ему соединения. Изучаемая глыба, как показали анализы, имела тысячелетний возраст» (стр.7).

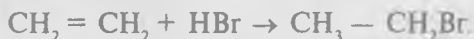
Каковы возможные реакции образования природных фреонов?

При вулканических извержениях в атмосферу выбрасываются большие количества таких соединений как HF, HCl, HBr и др. В атмосфере под воздействием солнечного света они могут частично диссоциировать с образованием галогенов и их ионов. Вулканические газы также содержат много метана, а вулканические жерла могут пересекать осадочные породы, содержащие органическое вещество. Поэтому в природных условиях может протекать реакция *металенсии* (на свету):



Результатом этой реакции является образование смеси моно- и полигалогидных соединений.

Кроме того, галогидводороды легко реагируют с непредельными углеводородами, например:



Также известно, что в результате распада органического вещества образуется значительное количество спиртов, которые затем растворяются в подземных водах. Спирты взаимодействуют с галогидводородными кислотами по уравнению (реакция обратима):



Изложенное выше отнюдь не означает, что авторы выступают за бесконтрольное использование фреонов. Фреоны, как и многие другие промышленные вещества, являются загрязнителями атмосферы. Реабилитировать фреоны, как не имеющие отношения к уничтожению озона, пока нет достаточных оснований, хотя вряд ли они являются главными «преступниками».

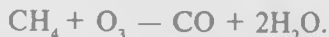
В 1985 году была подписана Венская конвенция, а в 1987 году в Монреале — межправительственное соглашение по охране озонового слоя Земли. Предусматривались ограничения на производство фреонов, азотных удобрений и бромсодержащих веществ. Монреальский протокол предусматривал сокращение выпуска фреонов к концу века на 50% и уже ратифицирован десятками стран. Позже на

различных международных форумах (Лондон, Копенгаген, Киото, Рио-де-Жанейро и др.) приняты еще более жесткие ограничения на промышленные выбросы в атмосферу.

Расчеты показывают, что к началу XXI века содержание озона может уменьшиться на 5-10%. Такое изменение количества озона еще не может вызвать существенного изменения температуры у земной поверхности, однако может нарушить циркуляцию воздушных масс в стратосфере и увеличить поток средневолнового (240-320 нм) УФ-излучения, обладающего опасным биологическим действием. Экспериментально установлено, что это излучение отрицательно влияет на продуктивность злаковых культур (пшеница, рис и др.), неблагоприятно влияет на икру и мальков рыб, подавляет продуктивность фитопланктона и т.п. Всего однопроцентное сокращение озона вызывает четырехпроцентный скачок в распространении рака, особенно рака кожи. Одновременно подавляется иммунная система, снижается общая сопротивляемость организма заболеваниям. Повышенная солнечная радиация — одна из причин катаракты.

Многочисленные факты, указывающие на эволюцию озонового слоя в неблагоприятном направлении, игнорировать никак нельзя. Даже «реабилитация» фреонов еще не означает, что изменения в озоновом слое не связаны с деятельностью человека.

Вспомним, что химические предприятия, металлургические заводы, авто- и авиатранспорт выбрасывают в атмосферу огромные количества низших окислов азота и углерода. Плотность этих газов примерно равна плотности воздуха; угарный газ (моноксид углерода) даже несколько легче воздуха (плотности соответственно 1,25 и 1,29 г/л). Восходящими воздушными массами низшие окислы азота и углерода легко переносятся в верхние слои атмосферы, где и вступают во взаимодействие с озоном. Не следует забывать и того обстоятельства, что ежегодно в атмосферу поступают также миллиарды кубических метров метана (например, только при добыче углей в Донбассе в атмосферу поступает до 800 млн.м³ CH₄ в год). Метан легче воздуха, поэтому может перемещаться в стратосферу и более высокие оболочки, где способен спонтанно реагировать с озоном:



Таким образом, борьба за сохранение озонового слоя, по нашему глубокому убеждению, должна быть направлена не на выискивание какого-то локального «вредного» фактора, а на разработку комплекса общепланетных мероприятий по стабилизации экологической обстановки воздушного бассейна, снижению его загрязнения продуктами деятельности человека, прежде всего, низшими окислами азота и углерода, а также углеводородами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА КАК ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КАТЕГОРИЯ

Завершая работу над первой книгой «общая экология», авторы хотели бы сделать несколько замечаний и пояснений «идеологического» плана.

Вдумчивый читатель, будь-то студент или умудренный опытом ученый, наверняка заметил, что данное учебное пособие отличается от подобного рода работ как по содержанию, так и по научной направленности излагаемого материала. Это обусловлено, прежде всего, тем, что авторы придерживаются мнения об особой роли экологии в жизни как общества, так и каждого человека. По нашему мнению, именно экология в наши дни ближе всего стоит к созданию супернауки, призванной объединить все разнообразие знаний человека в единое стройное целое, создать теоретический фундамент ноосферы, без которого ее эффективное функционирование невозможно. Отсюда многочисленные экскурсы в области смежных, а порой и весьма отдаленных от экологии научных дисциплин.

В начале книги экологию мы сравнивали с рекой, по которой движутся плоты, а экологов — с биотическими навигаторами. Таки-ми навигаторами, по сути, является все человечество. Поэтому и заслуги в появлении данного учебного пособия нам хотелось бы разделить как с теми авторами, на труды которых мы ссылаемся, так и с теми, чей незаметный, но необходимый вклад прослеживается в уже ставших привычными фразах и фактах.

Великий физик Э. Резерфорд, чьи открытия создали непосредственную основу современного научно-технического прогресса, еще в 1936 году писал: «Наука продвигается вперед шаг за шагом, и труд любого человека зависит от труда его предшественников. Если до

вас дошел слух о внезапном, неожиданном открытии, как говорится, гром среди ясного неба, можете быть уверены, что оно созрело в результате влияния одних людей на других, и именно это взаимное влияние открывает необычайные возможности прогресса науки. Успех ученых зависит не от идей отдельного человека, а от объединенной мудрости многих тысяч людей, размышляющих над одной и той же проблемой, и каждый вносит свою небольшую лепту в великое здание знания, которое постепенно воздвигается» (с. 17).

Эти слова сегодня вряд ли могут удивить нас, разве что четкостью и полной ясностью позиции. И если они справедливы в отношении многих тысяч тех, кто ищет и открывает неизвестное, то во стократ справедливее к тем, кто стремится сохранить и улучшить свой дом — Землю.

Однако вернемся к идее экологии как супернауки, попутно отметив, что первоначально на роль такой супернауки претендовала философия (натурфилософия).

Позже количество претендентов возросло: сначала физика, потом космогония, биология. Однако все эти науки «страдают» одним существенным недостатком — односторонностью, ограниченностью.

И действительно, физика изучает только законы неорганической материи, они познаются как бы вне связи с органической жизнью, точнее, физические законы существуют объективно — при этом не имеет значения, существуют ли живые существа, их познающие, или их нет. Космогония (а также релятивистская физика), дополняя наши знания о материи, энергии и их свойствах, существенное внимание уделяют пространству и времени в их взаимосвязи. Но и это, по сути, никак не касается сущности жизни (хотя и высказываются мнения, начиная с Джордано Бруно, о бесконечности миров, подобных нашей планете и населенных разумными существами). Биология, со своей стороны, как бы отвлекается от физической и космической составляющих, акцентируя внимание лишь на живом. Правда, возникли новые дисциплины на стыке биологии и геологии (палеонтология), биологии и химии (биохимия), биологии и физики (биофизика) и т.п., но все это лишь узкие направления, никак не отражающие общую картину мира. К тому же некоторые из них уже на нашей памяти оказывались лженауками, как это случилось, например, с астробиологией, «научно» обосновавшей существование жизни на Марсе.

Только экология органически объединяет среду и организмы, Космос и живое, пространство и время в форме биотопов и эволюционного процесса, вскрывая сложнейшие взаимосвязи между ними.

Сюда совершенно естественно вписывается и экология человека, рассматривающая человеческое общество и общественные отно-

шения на биолого-экологической основе, а не как нечто типа «человек — царь природы». Экология учит, что социально-экономические законы не являются чем-то самостоятельным, независимым от природной среды, окружающей человека, а возникли на биолого-космической основе.

Как уже неоднократно отмечалось, традиционно под экологией понимается наука о взаимоотношениях организмов (или их сообществ) со средой обитания, а также между собой, и закономерностях их жизнедеятельности. Однако правильное понимание взаимодействия организмов со средой практически невозможно без глубокого и всестороннего изучения как самих организмов, так и закономерностей, присущих среде обитания. Таким образом, сам объект экологии как науки требует глубокого вторжения, с одной стороны, в такие области знания, как физиология, биохимия, генетика, и, с другой стороны, в область естественно-научных дисциплин (геология, география, геохимия, космогония и др.). Разрешая данное противоречие, экология как бы «выходит» за свои чисто биологические рамки и уже сегодня становится прообразом синтетической супернауки о мироздании в его научном понимании. Этим объясняется и то большое внимание, которое мы в данной книге уделили как организмам, так и среде их обитания (в широком смысле слова).

Во второй книге «Общая экология» авторы предполагают придерживаться тех же принципов изложения материала, что и в первой книге. Основные разделы второй книги будут посвящены характеристике биосферы как глобальной экосистемы, функционированию экосистем и круговороту вещества и энергии в экосистемах. Авторы надеются, что нетрадиционный подход к предмету и проблемам общей экологии будет способствовать ее развитию на качественно более высоком познавательном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авдеев В.А., Кац Я.Г., Фельдман В.И. Следы метеоритов на поверхности планет. // Природа, 1979, 4. - с. 12-19.
- Акрамов З., Рафиков А., Прошлое, настоящее и будущее Аральского моря. — Ташкент: Мехнат, 1990. — 144 с.
- Алиев Э.Б. Социально-экономическая география. Понятийно-терминологический словарь. — М.: Мысль, 1983. — 350 с.
- Александрова В.Д. Представление проекта унификации терминов в учении о биосфере и биогеоценозе. — В кн.: Очередные задачи биогеоценологии и итоги работ биогеоценологических семинаров. — Л.: Наука, 1973. — с. 213-228.
- Андерсон Дж. М. Экология и науки об окружающей среде: биосфера, экосистемы, человек. — Л.: Гидрометеоздат, 1985. — 165 с.
- Арманд А.Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. М.: Наука, 1988. — 264 с.
- Бауэр Э.С. Теоретическая биология. — М.: ВИЭМ, 1935. — 320 с.
- Бекназов Р.У., Нивиков Ю.В. Охрана природы. — Ташкент: Укитувчи, 1995. — 583 с.
- Берг Л.С. География и ее положение в ряду других наук. — В сб.: Вопросы страноведения. — М. — Л., 1925. — с. 7-8.
- Бертон П., Радд Д. Стратегия защиты окружающей среды. — М.: Мир, 1980. — 606 с.
- Берущашвили Н.Л. Геофизика ландшафта. — М.: Высшая школа, 1990. — 287 с.
- Беус А.А. Геохимия литосферы. — М.: Недра, 1972. — 296 с.
- Блауберг И.В., Садовский В.Н., Юдин Э.Г. Системные исследования и общая теория систем. — В сб.: Системные исследования. Ежегодник. — М.: Наука, 1969 — с. 7-29.
- Блауберг И.В., Садовский В.Н., Юдин Э.Г. Системный подход: предпосылки, проблемы, трудности. — М.: Наука, 1969. — 140 с.
- Блох А.М. Связанная вода минеральных систем и роль вмещающих толщ как генераторов природных растворов. — Автореф. докт. дисс. — М.: Ан СССР, 1972. — 33 с.
- Богданова Т.Л., Брайон А.В., Кравец Г.К. и др. Справочник по биологии. — Киев: Наукова думка, 1985. — 582 с.
- Бройль Луи де. Революция и физика. — М.: Госатомиздат, 1963. — 231 с.
- Брукс К. Климаты прошлого. — М.: Изд-во иностр. литературы, 1952. — 357 с.
- Будыко М.И. Глобальная экология. — М.: Мысль, 1977. — 327 с.
- Будыко М.И. Изменения окружающей среды и смены последовательных фаун. — Л.: Гидрометеоздат, 1982. — 78 с.
- Бунич И. Л. Пятисотлетняя война в России. — СПб.: Облик, 1997. — 576 с.
- Бурдынь Т.А., Закс Ю.Б. Химия нефти, газа и пластовых вод. — М.: Недра, 1975. — 216 с.
- Бутенко Р.Г., Попов А.С. Банк клеток растений — возможности и проблемы. — Природа, 1979. № 4. — с. 2-11.

Вайсблит И.В. Полный иллюстрированный словарь иностранных слов с указанием их происхождения, ударений и научного значения. — М. — Л.: Кооперативное изд-во, 1926. — 677 с.

Валуконис Г.Ю. Остаточко модифицированная вода и ее роль в первичной миграции нефти. — В сб.: Геология и разработка нефтяных и газовых месторождений, 1976, вып. 13. — с. 10-12.

Валуконис Г.Ю. Процессы метаморфизации состава подземных вод и их геологическое значение (некоторые современные проблемы гидрогеологии). — Авторефер. докт. дисс. — Л.: Горный ин-т, 1989. — 36 с.

Валуконис Г.Ю. Озоновая «дыра» — мифы и реальность. // Стахановское знамя, 1990, № 174. — с. 2-3.

Валуконис Г.Ю., Валуконис Т.М. Изучение и прогнозирование инженерно-геологических явлений при планировании защиты территорий и недр Земли по гидродинамическим и гидрохимическим данным. — В сб.: Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды. — Л.: Ленингр. горный ин-т, 1976, — с. 114-116.

Валуконис Г.Ю., Гордый М.Т., Каретников Л.Г. Способ поисков залежей нефти и газа. — Авторское свид. № 426027, 1971.

Валуконис Г.Ю., Каратаев Г.И., Каретников Л.Г. Задачи распознавания продуктивных и непродуктивных ловушек. — В кн.: Количественные методы прогноза нефтегазодности, 1976. — Минск: Бел НИГРИ. — с. 85-104.

Валуконис Г.Ю., Мурадов Ш.О. Изменение солевого состава грунтовых вод в связи с засолением почв. // Гидротехника и мелиорация, 1980, №2 — с. 71-74.

Валуконис Г.Ю., Прихолько С.Ю. Периодичность катастроф на шахтах Донбасса и их связь с гравитационным воздействием Луны. — Материалы международного научного конгресса: Фундаментальные проблемы естествознания. — С-Пб., 1998. — с. 31.

Валуконис Г.Ю., Ходьков А.Е. Геологические закономерности движения подземных вод, нефти и газов. — Л.: изд-во Ленингр. ун-та, 1973. — 304 с.

Валуконис Г.Ю., Ходьков А.Е. Роль подземных вод в формировании месторождений полезных ископаемых. — Л.: Недра, 1978, — 296 с.

Василевский В.А. Вода. — БСЭ, 3-е изд. — М.: Советская энциклопедия, 1971, т.5. — с. 171-174.

Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. — М.: Наука, 1965. — 374 с.

Вернадский В.И. Биосфера. — М.: Мысль, 1967. — 376 с.

Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Научная мысль как планетное явление. — М.: Наука, 1977. — КН. 2. — 320 с.

Вернадский В.И. Живое вещество. — М.: Наука, 1978. — 219 с.

Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии. — В кн.: Труды биогеохимической лаборатории, т. 16. — М.: Наука, 1980. — 320 с.

Викрамсингх Ч. Размышления астронома о биологии. — Курьер ЮНЕСКО, 1982, №6. — с. 35-36.

Войткевич Г.В., Закругкин В.В. Основы геохимии. — М.: Высшая школа, 1976. — 368 с.

Вологдина А.Г. Земля и жизнь. Эволюция среды и жизни на Земле. — М., 1963. — 174 с.

Воронцов А.И., Харитонова Н.З. Охрана природы. — М.: Высшая школа, 1977. — 408 с.

Герасимов И.П. Биосфера Земли. — М.: Педагогика, 1976. — 96 с.

Гиляров М.С. Особенности почвы как среды обитания и ее значение в эволюции насекомых. — М.: изд-во АН СССР, 1949. — 280 с.

Гиляров М.С. Вид, популяция и биоценоз. — Зоологический журнал, 1954. т. 33, вып. 4. — с. 769-778.

Гиляров М.С., Винберг Г.Г., Чернов Ю.И. Экология — задачи и перспективы. — Природа, 1977, №5. — с. 3-10.

Глазовская М.А. Почвы мира. — М.: изд-во МГУ, 1973. — 427 с.

Гольданский В.И., Кузьмин В.И., Морозов Л.Л. Нарушение зеркальной симметрии и возникновение жизни. — Наука и человек, 1986. — с 139-151.

- Гололобов Я.К. Границы сероводородной и кислородной зон в Черном море. // Природа, 1979, №5. — с. 98-99.
- Голубец М.А. Актуальные вопросы экологии. — Киев: Наукова думка, 1982. — 158 с.
- Горышнина Т.К. Экология растений. — М.: Высшая школа, 1979. — 368 с.
- Груздев А.Д. Способ укладки ДНК в хромосоме. // Природа, 1979, №3. — с. 62-70.
- Давиташвили Л.П. Краткий курс палеонтологии. — М.: Госгеолтехиздат, 1958. — 544 с.
- Дажо Р. Основы экологии. — М.: Прогресс, 1975. — 415 с.
- Джарофф Л. Он синего цвета, у него много лун... // Америка, 1990, №399. — с. 3-6.
- Дылис Н.В. Основы биоценологии. — М.: изд-во МГУ, 1978. — 160 с.
- Докучаев В.В. Учение о зонах природы. — М.: Географгиз, 1948. — 64 с.
- Дре Ф. Экология. — М.: Атомиздат, 1976, — 168 с.
- Дювиньо П. Биосфера и будущее растительности земного шара. — Л.: Наука, 1979. — 96 с.
- Дювиньо П., Танг М. Биосфера и место человека в ней. — М.: Прогресс, 1968. — 253 с.
- Ершов В.В., Новиков А.А., Попова Г.Б. Основы геологии. — М.: Недра, 1986. — 310 с.
- Жаботинский А.М. Концентрационные автоколебания. — М.: Наука, 1974. — 178 с.
- Забродин В.Ю., Кириллова Г.Л., Кулындышев В.А. и др. Геологические тела (терминологический справочник). — М.: Недра, 1986. — 334 с.
- Завадский К.М. Вид и видообразование. — Л.: Наука, 1968. — 404 с.
- Заварзин Г.А. Пространство логических возможностей в многообразии бактерий и их филогения. // Природа, 1979, №6. — 9-19.
- Зайцев О.С. Химическая термодинамика к курсу общей химии. — М.: изд-во МГУ, 1973. — 295 с.
- Иванов Б.А. Инженерная экология. — Л.: изд-во Леингр. ун-та, 1989. — 152 с.
- Ивлев А.М. Биогеохимия. — М.: Высшая школа, 1986. — 127 с.
- Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. — М.: Гидрометеоздат, 1984. — 560 с.
- Иоганзен В.Г. Основы экологии. — Томск: изд-во Томск, ун-та, 1959. — 388 с.
- Казначеев В.П. Учение о биосфере. Эпизоды о научном творчестве В.И. Вернадского. — М.: Знание, 1985. — 80 с.
- Казначеев В.М., Михайлова Л.П. Сверхслабые излучения в межклеточных взаимодействиях. — Новосибирск: Наука, 1981. — с. 88-102.
- Каримов И. Узбекистан на пороге XXI века: угрозы безопасности, условия стабильности и гарантии прогресса. — Ташкент: Узбекистан, 1997. — с. 118-123.
- Кашкаров Д.Н. Среда и сообщество (основы синэкологии). — М.: Медгиз, 1933. — 247 с.
- Каретников Л.Г., Валукоис Г.Ю. Критерии нефтегазоносности. — Минск: Наука и техника, 1972. — 280 с.
- Каретников Л.Г., Валукоис Г.Ю., Гордый Н.Т. Опыт использования сумчатых грибов при поисках залежей нефти и газа. — Микробиологическая промышленность, 1975, вып. 1 (121). — с. 16-17.
- Келлер Б.М. Загадки верхнего докембрия. // Природа, 1979, №1. — с. 66-75.
- Керн Р., Вайсброт А. Основы термодинамики для минералогов, петрографов и геологов. — М.: Мир, 1966. — 278 с.
- Ковальский В.В. Геохимическая экология. — М.: Наука, 1974. — с. 5-149.
- Ковда В.А. Основы учения о почвах. — М.: Наука, 1971. — Кн. 1-467 с., кн. 2. 468 с.
- Ковда В.А. Биосфера, почвы и их использование. — М.: Наука, 1974. — 128 с.
- Ковда В.А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана. — М.: изд-во МГУ, 1981. — с. 40-62.
- Ковда В.А., Якушевская И.В. Биомасса и гумусовая оболочка суши. — В. кн.: Биосфера и ее ресурсы. — М.: Наука, 1971. — с. 132-141.
- Колчинский Э.И. О выделении основных тенденций в эволюции биосферы: историко-научные и методологические аспекты проблемы. — В сб.: Экосистемные исследования: историко-методологические аспекты. — Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. — с. 5-39.
- Коммюнер Б. Замыкающийся круг. Природа, человек, технология. — Л.: Гидрометеоздат, 1974. — 279 с.

- Сулин В.А. Гидрогеология нефтяных месторождений. — М. — Л.: Гостоптехиздат, 1948. — 480 с.
- Сытник К.М., Брайон А.В. Гордецкий А.В. Биосфера, экология, охрана природы. — Киев: Наукова думка, 1987. — 523 с.
- Тутаринов А.И. Общая геохимия. — М.: Атомиздат, 1973. — 288 с.
- Тюрюканов А.Н. Биосфера и человечество. — М.: Знание, 1973. — 64 с.
- Хамраев Н.Р., Ахунди М.Н., Эргашев А.К. Проблемы и перспективы устойчивости развития водохозяйственного сектора государств бассейна Аральского моря. — Ташкент, 1998. — 85 с.
- Ходьков А.Е., Валуконис Г.Ю. Формирование и геологическая роль подземных вод. — Л.: изд-во Ленингр. ун-та, 1968. — 216 с.
- Ходьков А.Е., Валуконис Г.Ю. От атома водорода до Солнечной системы (основы новой космогонической теории). — СПб.: Недра, 1996. — 128 с.
- Цыперович А.С., Галич И.П. Биология и технический прогресс. — Киев: Наукова думка, 1976. — 222 с.
- Чандлер Т.Дж. Воздух вокруг нас. — Л.: Гидрометеоздат, 1974. — 144 с.
- Чернин А.Д. Реликтовое излучение, бесконечность и горизонт. // Природа, 1979, №3. — с. 44-53.
- Чернова Н.М., Былова А.М. Экология. — М.: Просвещение, 1981. — 255 с.
- Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. — М.: Мысль, 1976. — 350 с.
- Шандала М.Г., Костовецкий Я.И., Булгаков В.В. Охрана и оздоровление окружающей среды в условиях научно-технической революции. — Киев: Здоровье, 1982. — 224 с.
- Шатенштейн А.И., Яковлева Е.А., Звягинцева Е.Н. и др. Изотопный анализ воды. — М.: изд-во АН СССР, 1957. — 236 с.
- Шварц С.С. Принципы и методы современной экологии. — Труды ин-та биологии Уральского филиала АН СССР, вып. 21. — Свердловск, 1960. — с. 7-31.
- Шварц С.С. К истории основных понятий современной экологии. — В кн.: Очерки по истории экологии. — М.: Наука, 1970. — с. 89-105.
- Шварц С.С. Эволюция биосферы и экологическое прогнозирование. — В кн.: 250 лет Академии наук СССР. Документы и материалы юбилейных торжеств. — М.: изд-во АН СССР, 1977. — 366-378.
- Шварц С.С. Экологические закономерности эволюции. — М.: Наука, 1980. — 278 с.
- Шварцев С.А. Физические свойства, строение и термодинамическое состояние воды в земной коре. — В кн.: Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия. — Новосибирск: Мысль, 1982. — с. 8-19.
- Шнитников А.В. Из голоценовой истории озер Евразии. — Вопросы географии: ритмы и цикличность в природе, сб. 79. — М.: Мысль, 1979. — с. 51-67.
- Шноль С.Э. Физико-химические факторы биологической эволюции. — М.: Наука, 1979. — 262 с.
- Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики? — М.: изд-во иностр. литературы, 1947. — с. 15-37.
- Щербина В.В. Основы геохимии. — М.: Наука, 1972. — 296 с.
- Щукин И.С., Влодавец В.И., Гедьмин А.В. Четырехязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии. — М.: Советская энциклопедия, 1980. — 703 с.
- Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. — М.: Мир, 1973. — 216 с.
- Эйнштейн А. Физика и реальность. — М.: АН СССР, 1965. — с. 194, 294.
- Adams Ch. Guide to the study of animal ecology. — New York: Macmillan, 1913. — 183 p.
- Akabori S. The asymmetric synthesis of amino acids and the formation of the primitive protein. — Science, 1956, v. 25. — 54 p. (in Japanese).
- Alvarez L.W. e.a. Extraterrestrial cause of Cretaceous — Tertiary extinction. — Science, 1980, v. 208, p. 1095-1108.
- Bidwell R.G., Frasser D.E. Carbon monoxide uptake and metabolism by leaves. — Canad. J. Bot., 1972, vol. 50. — p. 1435.

- Clarke F.W.** The dato of geochemistry. — Chapters, 1923. — s. 10-11.
- Craig H.** Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. — Science, 1961, v. 133, № 3467. p. 1833-1834.
- Elton Ch.** Animal ecology. — London: Sidgwick and Jackson, 1927. — 288 p.
- Haeckel E.** Generale Morphologie der Organismen. Allgemeine Grundzuge der organischen Formen — Wissenschaft, mechanisch begrundet durch die von Charles Darwin reformierte Descendenz Theorie. — Berlin: Reimer Verl., 1866. — Bd. 1. — 724 s. — Bd. 2. — 462 s.
- Holling C.S.** Resilience and stability of ecosystems. — Evolution and conseiousness: Human systems in trasion. — Addison — Wesley, 1976. — 259 p.
- Leopold A.** A Sand Country Almanac. — Oxford Univ Press., 1966.
- Mac Arthur R.H.** Fluctuations of animal pouplation and a measure community stability. — Ecology, 1955, vol. 36, №3.
- Margalef R.** A practical proposal to stability. — Publ. de Inst. de Biol. Appl. Univ. de Barcelona, 1951, vol. 6, №1.
- Miller S.L.** Production of amino acids under possible primitive earth conditions. — Science, 1953, vol. 117. — 528 p.
- Mitchell T.L.** Journal of an Expedition into the Interior of Tropical. Australia. — London, 1848. — p. 306-413.
- Newell N.D.** How-asteroid caused extinctions. — Science News, 1980, v. 117. №2. — p. 22.
- Newman M.J., Rood R.T.** Jmplications of solar evolution for the earths earty atmosphere. — Science, 1977, v. 198.
- Regener V.H.** Neuc Messingen der vertikalen Ozonverteilung in der Atmosphäre. — Naturwissen., 1938, vol. 25. — s. 155.
- Schröter C., Kirchner O.** Die Vegetations des Bodensees. — Jn: Schriften Vereinsgesch. Bodenseens Unrgeb., 1896. Bd. 25. — c. 1-76.
- Wahlert G.** Co-Evolution herrscht uberall. — Hamburg, Berlin: Paul Parey, 1978. — s. 101-125.
- Walter H.** Vegetation of the Earth in Relation to Climate and Ecophysiological Conditions. — London: Englisch Univ. Press., 1973.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абиогенез, 91
абиотическая среда, 181
абиотические составляющие, 23
абиотический фактор, 38
автотрофность человечества, 75
автотрофы, 74
автохтонный ареал, 31
агрегации особей принцип, 53
адаптация, 26, 29, 140
адвекция, 259
адгезия, 123
азот, 170, 176, 245
альbedo, 76
альфа-аланин, 153
Аллена правило, 84
аллелопатия, 42, 164
алярмизм, 6
аменеализм, 164
аммониты, 67, 107
аммонификация, 253
антропогенная среда, 182
антропогенный фактор, 38, 139
антропология, 73
антропоцентризм, 4
Аральский кризис, 230, 231, 237
ареал, 25, 30, 31
аргон, 245
археоциаты, 62, 107, 108
асемантические молекулы, 110, 111
ассиметричный атом, 93
астеносфера, 189
астроблема, 148

атмобифильность, 143
атмосфера, 133, 242
атмосферная влага, 245
атмосферный фактор, 38
аутэкология, 12, 113
ацидофилы, 145

Б

Базальтовый слой, 185, 186
базофилы, 145
багряные водоросли, 73
бактерии, 73, 103, 131, 104, 107
барзасская рогожа, 136
беззамковые плеченюгие, 64
белемниты, 68, 107
бентос, 66, 225
Бергмана правило, 84
бескрылые насекомые, 69
бесскелетные животные, 106, 107
бессмертие, 160
бесчелостные позвоночные, 72, 107
биогаз, 176
биогенетический закон, 50
биогенный фактор, 38
биогенный элемент, 170
биогеоценоз, 17
биологии всеобщий закон, 85
биологическая специализация, 25
биологическая адаптация, 29
биологический спектр, 27
биологический фактор, 38
биолого-экологические экосистемы, 18
биом, 18
биоосцилляторы, 161
биоредуценты, 24

биоритмы, 160
биостимулятор, 214
биосфера, 18
биосферная вода, 127
биот, 18
биотическая среда, 181
биотические отношения, 152, 162, 163
биотические факторы, 38, 39
биотоп, 182
биофаги, 24
биофильность, 142
биохимическая адаптация, 29
биохор, 182
биоценоз, 18, 19
биоценотический фактор, 38
биопикл, 182
биоэкоз, 46
биоэнергетика, 84
бифуркация, 234
близнецовый метод, 109
Большой взрыв, 203, 206
болотный газ, 176
брюхоногие моллюски 65, 107
бумеранг экологический, 6
бурые водоросли, 73

В

Валентность экологическая, 41
ведущий фактор, 39
венд, 106
верховые пожары, 139
вершинные хищники, 24
взаимодействие экологических факторов, 43
взаимоприспособленность, 52
вид, 54
вихревая теория, 207
влага атмосферная, 245
влажность критическая, 126
внешняя оболочка, 182
внешняя среда, 181
внутреннего динамического равновесия закон, 47
внутренняя оболочка, 182, 183
вода, 122
вода биосферная, 127
—грунтовая, 131
—метаболическая, 128
водная среда, 181
водород, 170, 245
водородный мостик, 212
водоросли, 104, 107

водяной пар, 242, 245
воздух, 133
воздушная среда, 181
волонтаризм экологический, 6
восьмитучевые кораллы, 64
воспитание экологическое, 7
вредный фактор, 38
время, 87, 151, 159
вспышки на Солнце, 147
«вторая» природа, 181
вторая точка Пастера, 105
вторичная продуктивность, 80
вторичноротые, 61
вторичный фактор, 38
второе начало термодинамики, 80, 155
второстепенный фактор, 38
вынужденное развитие, 161
высшие животные, 72

Г

гайоты, 192
галоидофиты, 145
галофиты, 137
гамма-аминомасляная кислота, 158
гастроподы, 107
гастропор, 61
гаструла, 60
гейдельбергский человек, 72
гелий, 245
гелиофиты, 121
гелиофобы, 121, 122
гелофиты, 26
гемикриптофиты, 26
гемоглобин, 252
гемоцианин, 252
генетическая классификация, 55
генотипические адаптации, 29
генетический фактор, 38
генетического разнообразия закон, 51
географическая популяция, 33
географический ландшафт, 21
географический фактор, 38
географической замены правило, 52
геократические колебания, 199
геологические периоды, 102, 103
геологической летописи неполнота, 87
геомикробиологический метод, 177
геоморфологический фактор, 38
геосинклиналь, 188, 189, 195, 196
геосферы, 182
геотория, 32

космические ограничения жизни, 203, 205
космозойские периоды, 207, 209
космополиты, 31
космос, 147, 150, 181
копирование, 112
коэффициент полезного действия фотосинтеза, 76
— транспирации, 125
кофактор, 170
красное смещение, 203, 205
красные водоросли, 73, 120
крахмал, 171
кризис экологический, 15
криофилы, 113
криптон, 245
криофиты, 130
криптофиты, 26
кристаллический фундамент, 196
критерии качества среды, 9
критическая влажность, 126
кроманьонец, 73
круговорот, 162
крылатые насекомые, 69
крыложаберные, 71
ксероморфные олиготрофы, 130
ксерофиты, 130
кухня погоды, 242

Л

Ладеяногие, 65, 66
лемуры, 72
летальный фактор, 38
Либиха закон, 40
лилии морские, 70
лимитирующих факторов принцип, 40
линнеон 56
липидбиолиты, 173
листочекбелые растения, 73
литобифильность, 143
литофиты, 138
локальная популяция, 33

М

Магнитосфера, 244
малеиновая кислота, 157
мангры, 137, 172
мантия, 182
медиатор, 158
межвидовая помощь, 164
мезодерма, 60
мезопауза, 244
мезосфера, 242

мезотермные организмы, 113, 114
мезотрофные растения, 144
мезофиты, 130
мел, 175
мелиорация, 44, 45
меловой период, 102, 149
мембрана, 101
мертвый запас, 126
металепсия, 260
метан, 176, 177, 245
метеорит, 147, 148, 204
механизм осмотической регуляции, 123
миграция полосов, 201
микробоценоз, 22
микроорганизмов экология, 13
микрофоссилии, 223
минимума закон, 40
мирового баланса закон, 48
млекопитающие, 72
многочапки, 69
моллюски, 64
молочная кислота, 91, 92
морена, 106, 198
морские звезды, 70
— ежи, 70, 107
— лилии, 70
— пузыри, 70
морфологическая адаптация, 29
мутагенез, 230
мутации, 99
мутуализм, 164
мхи, 73, 107
мшанки, 64

Н

Насекомые, 69, 70, 107
нахлебничество, 164
неандерталец, 72
негэнтропия, 82
Неймана теорема, 90
нейстон, 226
нейтрализм, 164
нектон, 66, 226, 227
нематофиты, 73
немертины, 60
необратимости эволюции закон, 48, 159, 160
неогеновый период, 102, 247
неон, 245
неполнота геологической летописи, 87
неприкрепленные иглокожие, 70
неритовая область, 104, 199
несжимаемость, 123

неупорядоченность, 158
низовые пожары, 139
низшие растения, 73
нитрификация, 253
новая глобальная тектоника, 188
нуммулиты, 107

О

Обезьяны, 72
области аридные, 126
— гумидные, 126
облитерация, 148
оболочки Земли, 182
оболочники, 72
обучение экологическое, 7
общая продуктивность, 78
общая экология, 12
огонь, 138, 139
ограничения экологические, 6
одного процента правило, 83
однодольные, 74
озон, 244, 255
озоносфера, 256
океаническая кора, 183
окислительно-восстановительный потенциал, 145
окись азота, 245
окись углерода, 245
окружающей среды качество, 8
окисфера, 184
оледенение лапландское, 106, 201
олиготрофная растительность, 144
олиготрофы, 78
опосредованная конкуренция, 164
оптимизм экологический, 6, 38
оптическая изомерия, 91
орангутанг, 72
организмы, 8, 40, 108
организмы-концентраторы, 141
организмы как среда, 8, 176, 177, 181
органогенные породы, 175
ордовикский период, 107
орогенная фаза, 196
орографический фактор, 39
осмотической регуляции механизм, 123
особь, 54
остаточно-модифицированная вода, 216
отклонения условий принцип, 22
отрицательная энтропия, 82
олидофиты, 121

П

Палеоантропология, 73
палеогенетика, 110
палеогеновый период, 247
панмиксия, 32
панцирные моллюски, 65
папоротниковые, 74, 107
песока, 125
пастеризация, 91
паразитизм, 164
паренхима, 125
парниковый эффект, 118, 251
паукообразные, 69
Пейоризация, 44
пеллециподы, 107
пендинская язва, 165
первичная продукция, 78
первичный ареал, 31
первичный фактор, 38
первичноротые, 61
первичнотрахеальные, 69
перегной, 173
периоды геологические, 102, 103
перифитон, 226
пермь, 247
пессимизм экологический, 6
пирамида экологическая, 81
—Элтона, 81
питание голозойное, 59
— осмотрофное, 59
— фототрофное, 59
питекантроп, 72
пищевые уровни, 18
— цепи, 18
плавления температура, 124
плазма, 138
планктон, 226
пластинчатожаберные, 65
платформа, 196
платформенный чехол, 196
плацентарные, 72
плауновые, 73, 107
плеченогие, 64, 107
поведенческие адаптации, 29
поверхностное натяжение воды, 123
подтипы хордовых, 72
пожары, 139
позвоночные, 72
позвоночный столб, 72
пойкилохлоридные растения, 128
пойкилотермы, 114
покрытосеменные, 74, 100
положительный температурный градиент, 117

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

К предисловию

1. Каково воздействие научно-технического прогресса на окружающую среду?
2. Что такое антропоцентризм?
3. Каковы задачи экополитики?
4. Какие закономерности изучает экологическая наука?
5. Что такое алярмизм?
6. Охарактеризуйте экологический оптимизм и экологический пессимизм.
7. В чем проявляется экологический волюнтаризм?
8. Что такое «экологический бумеранг»?
9. Охарактеризуйте задачи экологического обучения и воспитания, а также экологической пропаганды.
10. Что такое экологический реализм?

К разделу I, подразделы 1.1 и 1.2

1. Перечислите определяющие понятия в экологии.
2. Что понимается под «живым веществом»?
3. Дайте определение качества окружающей среды.
4. Каковы основные критерии качества среды?
5. Кто является родоначальником экологии как науки?
6. Дайте полное определение экологии.
7. Что такое «Round River»?
8. В чем проявляется «биологичность» экологии?
9. Какова связь экологии с другими научными дисциплинами?
10. На какие дисциплины подразделяется современная экология?

11. Что такое аутоэкология и синэкология?
12. Охарактеризуйте процессы дифференциации и интеграции в экологии.
13. Какие задачи решает экология человека?
14. В чем сущность экологического кризиса?
15. Охарактеризуйте комплекс экологических задач.
16. Какова связь экологии с охраной природы?
17. Какие пути ослабления негативных процессов, вызванных производством?

К разделу I, подраздела 1.3 и 1.4

1. Что такое экологическая система?
2. Дайте определение биогеоценоза.
3. Охарактеризуйте свойство эмерджентности (целостности).
4. Как подразделяются экосистемы?
5. Что такое пищевые цепи и трофические уровни?
6. Чем отличается биом от биота?
7. Какова связь биоценоза и биогеоценоза?
8. Охарактеризуйте соотношение понятий «биогеоценоз» и «экосистема».
9. Что такое фация?
10. Что общего между понятиями «комплекс» и «система»? В чем их различия?
11. Какие элементы входят в биогеоценоз?
12. Каковы особенности взаимосвязей между экотопом, биоценозом и их компонентами?
13. Каковы функциональные компоненты биогеоценоза?
14. Какова роль первичных продуцентов?
15. Охарактеризуйте комплекс консументов.
16. Какова роль биоредуцентов (деструкторов)?
17. Что такое экологическая ниша?
18. Дайте определение жизненной формы.
19. Что понимается под адаптацией? Дайте классификацию.
20. Приведите примеры фанерофитов и хемофитов.
21. Приведите примеры криптофитов и терофитов.
22. Охарактеризуйте основные жизненные формы животных.
23. Какие существуют толкования термина «ареал»? Дайте классификацию ареалов.
24. Что такое регион и геотория?

К разделу I, подразделы 1.5, 1.6, 1.7 и 1.8

1. Что такое популяция?
2. Каково соотношение понятий «популяция» и «сообщество»?

3. Какие показатели характеризуют структуру популяции?
4. Охарактеризуйте внутрифункциональные показатели популяции.
5. Что такое гомеостаз?
6. Каковы особенности популяции человека?
7. Что понимается под экологическими факторами?
8. Дайте классификацию экологических факторов.
9. Что такое предел (зона) толерантности?
10. Разъясните сущность закона Либиха.
11. Сформулируйте закон толерантности.
12. Что понимается под «экологической валентностью»?
13. Дайте определение экологического спектра вида.
14. Приведите классификацию организмов в зависимости от их отношения к условиям среды.
15. Что такое «эффект компенсации»?
16. Что понимается под экологическим процессом?
17. Какие вы знаете процессы детериорации и мелиорации?
18. Дайте определение закона биоэкоса.
19. Сформулируйте основные эволюционные законы.
20. Расшифруйте «законы» Б.Коммонера.
21. Какие вы знаете законы разнообразия?
22. Сформулируйте закон физико-химического единства живого вещества.
23. Чем экологические законы отличаются от экологических правил?
24. Перечислите основные экологические правила и объясните их сущность.
25. Дайте определение принципов сосуществования и агрегации особей.

К разделу 2, подраздел 2.1

1. Дайте определение организма.
2. Что такое вид (организмов)?
3. Что вы подразумеваете под термином «классификация»?
4. Какие типы классификаций вы знаете?
5. Дайте определение систематики и таксономии.
6. Что такое жорданон и линнеон?
7. Как строится таксономическая иерархия организмов в биологии?
8. Чем отличаются эвкариоты от прокариотов?
9. Какие способы питания организмов вы знаете?
10. Охарактеризуйте типы простейших и губок. В чем их различия?

11. Как построено тело кишечнополостных?
12. Дайте характеристику типов червей.
13. Опишите строение первично- и вторичноротых.
14. Дайте характеристику коралловых полипов.
15. Охарактеризуйте тип плеченогих.
16. Тип моллюсков: их строение и классификация.
17. Какой тип моллюсков наиболее организован среди беспозвоночных животных?
18. Что вы знаете о вымерших классах и подклассах моллюсков?
19. Какой тип животных представлен наибольшим количеством ныне живущих форм?
20. Дайте классификацию типа членистоногих.
21. Охарактеризуйте тип иглокожих.
22. Какие животные относятся к типу полухордовых?
23. Какой основной признак хордовых животных?
24. Дайте классификацию хордовых животных.
25. Охарактеризуйте класс приматов.
26. Каких предков человека вы знаете?
27. Что является объектом изучения науки антропологии?
28. Какие растения относят к группе слоевцовых?
29. Как подразделяются слоевцовые растения?
30. Перечислите типы низкоорганизованных растений суши.
31. Охарактеризуйте членистостебельные и споровые растения.
32. Как подразделяются семенные растения?
33. Что вы можете сказать о покрытосеменных растениях?

К разделу 2, подраздел 2.2

1. Какой главный источник энергии используют живые организмы?
2. Что такое хемотрофные организмы?
3. Что понимается под автотрофностью человечества?
4. Охарактеризуйте Землю как геофизическую систему.
5. От чего зависит количество солнечной радиации, приходящей на Землю?
6. Что такое альбедо?
7. Что вы знаете о коэффициенте полезного действия фотосинтеза?
8. Напишите простейшую реакцию фотосинтеза и объясните ее.
9. Чем отличается фотосинтез от дыхания?
10. Что понимается под первичной продукцией?
11. Что такое трофическая цепь и трофическая сеть?
12. Какие трофические уровни вы знаете?
13. Что понимается под вторичной продуктивностью?

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ

Адаптация — однонаправленное приспособление организма (организмов) к обитанию в определенных условиях среды. Выделяют следующие виды адаптаций: морфологические, поведенческие (этологические), физиологические, биохимические, температурные и хроматические.

Ареал — ограниченная область распространения какого-либо вида, рода, семейства растений или животных, а также любой совокупности взаимосвязанных друг с другом организмов, сходных условий и сходных объектов. Ареал, в пределах которого наблюдаются возмущения в природной среде, именуется экологическим ареалом.

Аутэкология или экология особей — наука об отношениях и взаимодействиях со средой какого-либо вида, его популяции и всего вида.

Биогеоценоз — однородный участок среды с определенным составом живых (биоценоз) и косных (почва, влага, приземный воздух и др.) компонентов, динамично взаимодействующих между собой посредством обмена веществом, энергией и информацией.

Биосфера — глобальная экосистема; область существования живого вещества (В.И. Вернадский); часть внешних оболочек Земли (гидросферы и атмосферы) и верхняя часть литосферы, населенные живыми организмами.

Биотические отношения — отношения, складывающиеся между организмами. Различают следующие типы биотических отношений: конкуренцию, паразитизм, симбиоз, аллелопатию и др.

Биоценоз — исторически сложившаяся совокупность животных и растений, образующих систему, совместно использующую определенное пространство обитания (биотоп) в целях питания, роста и размножения (по Н.Б. Рухину).

Вид — совокупность особей, обладающих общими морфологическими признаками и способных в природных условиях скрещи-

ваться друг с другом, а также занимать сплошной или частично разорванный ареал. С биологических позиций вид является элементарной единицей органического мира.

Гомеостаз — способность популяции возвращаться в равновесное состояние (или состояние подвижно-стабильного равновесия экосистемы, биогеоценоза, популяции).

Живое вещество — совокупность всех живых организмов в данной экосистеме вне зависимости от их систематической принадлежности.

Жизненная форма — группа видов со сходными чертами приспособления к среде, близкими основными морфологическими чертами и поведенческими признаками в одинаковых условиях среды.

Организм — особь, обладающая признаками жизни, отдельный элемент живого вещества (по В.И. Вернадскому).

Охрана природы — система мер, направленная на рациональное взаимодействие общества и природы, обеспечивающая сохранение и восстановление природных ресурсов, предупреждающая прямые и косвенные влияния результатов деятельности общества на природу и здоровье человека.

Популяция — элементарная группировка организмов отдельного вида, обладающая всеми необходимыми условиями для поддержания своей численности необозримо длительное время в постоянно изменяющихся условиях среды. Различают популяции локальные (элементарные), экологические и географические.

Система — в общем случае это множество элементов, находящихся в отношениях и связях между собой, что в совокупности образует определенную целостность, единство. Любая система может быть рассмотрена как элемент системы высшего порядка, и как совокупность элементов низшего порядка.

Система биологическая — структура (клетка, организм, сообщество организмов и т.п.), выполняющая биохимическую, физиологическую, биоценотическую и иные функции, взаимодействующая со средой и другими системами как единое целое, состоящая из подсистем более низкого уровня, непрерывно приспособительно перестраивающая свою деятельность по сигналам обратной связи и проявляющая свойство самоорганизации.

Системные исследования — совокупность научных и технических проблем, которые при всей своей специфике и разнообразии исследуемых объектов рассматриваются как системы. Важнейшими инструментами анализа систем являются математика, теория информации и кибернетика.

Системный подход (системный анализ) — способ решения практических задач, заключающийся в рассмотрении в единой системе исходных условий, необходимых операций решения задач и средств проведения этих операций. Благодаря системному подходу, обеспечивается комплексное решение многих экологических и природоохранных проблем.

Синэкология — наука об отношениях и взаимосвязях разных совместно обитающих организмов друг с другом и с условиями абиотической среды.

Среда — комплекс природных тел и явлений, с которыми организмы находятся в прямых или косвенных взаимоотношениях.

Сукцессия — последовательная смена одного биоценоза другим во времени.

Теория систем — общенаучная (междисциплинарная) область исследований, которая разрабатывает обобщенные модели систем и логико-методологический аппарат их функционирования. Основоположителем теории систем считается А.А. Богданов (1873-1928), назвавший ее тектонологией (от греч. *tekton* — строитель).

Трофические (пищевые) цепи — цепи последовательной передачи вещества и эквивалентной ему энергии от одних организмов к другим в биоценозах. Универсальная трофическая цепь включает продуцентов, консументов и редуцентов.

Устойчивость (стабильность) экосистемы — ее способность противостоять каким-либо внешним воздействиям и возвращаться в первоначальное состояние.

Эволюция биологическая — необратимое историческое развитие живой природы, сопровождаемое усложнением организмов и приспособлением их к изменяющимся условиям существования, преобразованием биоценозов и биосферы в целом.

Экологическая ниша — совокупность множества параметров среды, определяющих условия существования того или иного вида и его функциональных характеристик.

Экологическая система (экосистема) — единый природный или искусственный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания. Размерная часть экосистемы представлена биогеоценозом.

Экологический подход — выявление и исследование связей, существующих между какими-либо объектами и окружающей их средой, включая организмы, с целью ее сохранения и улучшения.

Экологический реализм — правильное, научное понимание характера экологических воздействий на хозяйственную деятельность и жизнь человека.

Экологические факторы — разнообразные динамичные во времени и пространстве элементы и условия среды, воздействующие на организмы или их сообщества.

Экология — биологическая наука об отношениях живых организмов и образуемых ими сообществ между собой и с окружающей их средой.

Экотоп — совокупность абиотических факторов в биогеоценозе; в свою очередь, состоит из климатической (климатотоп), почвенно-грунтовой (эдафотоп) и водной (гидротоп) компонент.

**СКВОЗНАЯ ОБЩЕНАУЧНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ
ПРОГРАММА ПО ЭКОЛОГИИ
(с основами охраны природы)**

1. Общие положения и указания

Целью данной программы является формирование у подрастающего поколения и специалистов экологического мировоззрения и мышления. Поэтому она включает как вопрос экологического образования, так и экологического воспитания.

Программа имеет сквозной характер — и охватывает практически все возрастные и образовательные группы, начиная с дошкольного и завершая послевузовским образованием.

Программа составлена на основе системного подхода, что обеспечивает комплексно-структурное решение возникающих в ходе учебного процесса вопросов, а также творческое использование в курсе экологии научных идей термодинамики, социологии а также возможности информатики, кибернетики и ряда других дисциплин.

Излагаемые ниже вопросы полностью соответствуют Государственной программе Узбекистана по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов на перспективу до 2005 года и направлены на безусловное воплощение в жизнь принципиального указания Президента Республики И. Каримова о том, что «рассматривая потенциальные угрозы национальной безопасности, особое внимание необходимо обратить на проблему экологической безопасности и охраны окружающей среды» (1997. стр. 105-106).

Программа построена на принципах повторяемости расширения теоретических знаний и практических навыков обучающихся на каждой, более высокой, ступени образования. Однако ее не следует рассматривать в качестве универсального трафарета. Поэтому в преамбулах (или заключениях) подпрограмм-ступеней содержатся указания о возможных направлениях ее расширения или специализации в зависимости от профиля учебного заведения или деятельности будущего специалиста.

Учащийся или специалист, овладевший программой в целом или прошедший обучение по отдельным ее ступеням, должен знать основные теоретические положения и закономерности экологии, ориентироваться в экологическом законодательстве и вопросах экологической политики. Он должен уметь реалистически оценивать экологическую обстановку и гармонически увязывать свою профессиональную деятельность с экологическими требованиями.

2. Дошкольное образование

Общие представления о Земле, неживой и живой природе. Разъяснить ребятам в общедоступной форме, почему надо охранять животный и растительный мир, почему полезны даже жучки и хищные звери, что такое загрязнение природы и почему ее загрязнять нельзя.

Окружающая нас природа, в которой мы живем, это дом для всех людей. Дом должен быть надежным, не разрушиться, его крыша должна хранить нас от непогоды, в доме должно быть чисто и уютно. Дом надо улучшать, а не засорять. Рекомендуется ознакомить дошколят с наиболее распространенными в данной местности животными и растениями. Можно собирать гербарии (за исключением сбора редких видов растений), а также осуществлять простейшие фенологические наблюдения (когда прилетают те или иные виды, птиц, распускают листья деревья, кустарники и т.п.). Желательно научить ребят распознавать птиц по их голосам, животных — по следам, на песке, снегу. Прощаясь с детским садиком, ребята должны уметь высаживать растения и ухаживать за ними, мастерить простейшие скворечники, создавать искусственные гнезда и охраняемые зоны в местах размножения и водопоя животных.

3. Общее среднее образование

Оно может быть как школьным (начальная сельская школа, начальные классы средней школы), так и внешкольным (детские дома, интернаты и подобного рода учреждения).

Основная цель начального (I-IV классы) образования—выработка у учащегося или слушателя стойкого понимания того, что неживая и живая природа—едины и что нельзя живые организмы рассматривать вне среды. Учитывая возрастную специфику обучающихся, необходимо использовать образные методы обучения и убеждения, например, рассказать, как в зависимости от условий среды обычная рыжая лиса в полярных областях замещается белым песцом (тоже из семейства лисьих) и т.п.

Следующий этап—выработка устойчивого понимания того, что между организмами существуют закономерные взаимосвязи (биотические отношения). Это можно показать на примере ряда растений — травоядные — хищники травоядных—хищники хищников. Практический вывод их этого: природа не создает ненужных организмов, исчезновение какого-либо одного вида, ведет к исчезновению других видов.

Другие рекомендуемые для общего среднего экологического образования темы (по выбору):

1. Основы учения о биосфере (при изложении материала этой темы можно привести краткие данные о творце учения В.И. Вернадском).

2. Элементарные сведения о популяции (при этом упор нужно делать на то, что единичные организмы нежизнеспособны; если количество особей в популяции понизится до некоторого критического предела, то данный вид или данная популяция обречена на вымирание; тут же можно объяснить смысл Красной книги).

3. Загрязнение биосферы и его опасность для существования всего живого.

4. Охрана природы — обязанность каждого.

Все темы необходимо иллюстрировать конкретными примерами, почерпнутыми, например, из ежегодных национальных докладов, публикуемых Государственным комитетом по охране природы Республики Узбекистан.

4. Для среднеспециальных школ, академических лицеев и профессиональных колледжей.

Основы экологического мировоззрения и мышления должны быть заложены в среднеспециальных школах при изучении таких дисциплин как природоведение, ботаника, зоология, физическая география и ряд других.

Однако для подготовки всесторонне развитого гражданина и специалиста, ответственного за состояние биосферы и способного решать экологические проблемы, этого недостаточно. Воздействие человека на природу планеты приобрело глобальный характер и

продолжает возрастать, причем масштабы и темпы преобразований намного опережают развитие и уровень природоведческих знаний. Без усвоения этих знаний, строго говоря, вообще нельзя говорить о полноценной деятельности в области естественных наук, техники, медицины, народного хозяйства. Между тем большинство работающих ныне специалистов в период своей учебы не получили систематического экологического образования.

Исходя из этого, предусматривается включение курса «Основы экологии и охраны природы» в программы как среднеспециальных школ, так и других учебных заведений среднего звена. В зависимости от профиля учебного заведения курс может быть модифицирован за счет расширения тех или иных разделов или тем. Так, для академических лицеев физико-математического и химического, а также профессиональных колледжей технического и технологического профиля необходимо уклон сделать в сторону проблем инженерной экологии, для гуманитарных учебных заведений целесообразно углубленное изучение вопросов социальной экологии (экологии человека) и т.п.

Программа курса рассчитана на 69 часов (24 ч лекции, 30 ч практических занятий и 14 ч учебной практики).

Тема 1. Основы экологии

(4 ч, из них 2 ч на практические работы)

Предмет экологии, ее взаимосвязь с другими науками. Понятие о экологических системах и биогеоценозах. Популяции. Круговороты вещества и энергии в природе. Учение В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере.

Практическая работа: изучение взаимосвязей в природе на примере конкретных экологических систем.

Тема 2. Взаимодействие природы и человека (общества)

(4 ч, из них 2 ч на практические работы)

Зависимость человека от окружающей его природы. Природа как источник ресурсов и среда жизни. Причина роста использования природных ресурсов и необходимость их охраны. Существующие подходы к использованию природных ресурсов. Последствия воздействия человека на природу (на конкретных примерах — Аральское море, Кара-Кумский канал, Кара-Богаз-гол и др.). Природные комплексы и их целостность. Экологический реализм-теория и практика.

Практическая работа: влияние деятельности человека на экосистемы (экскурсия).

Тема 3. Экологические системы, их преобразование и охрана (8 ч, из них 4 ч на практические работы)

Структура и функционирование экосистем. Трофические (пищевые) уровни и цепи. Первичная и вторичная продукция. Экологическое равновесие. Воздействие человека на экосистемы. Понятие об экологизации технологий.

Природные ресурсы как компоненты экосистем. Необходимость воспроизводства природных ресурсов. Преобразование природы как основной способ увеличения продуктивности экосистем и повышения экологических качеств природной среды. Виды преобразовательного воздействия человека на природу. Вторичные следствия преобразовательной деятельности. Основные принципы охраны экосистем и природных ресурсов.

Практические работы: 1. Составление схематического проекта преобразования природы какого-либо района или объекта.

2. Знакомство со способами и результатами преобразовательных воздействий человека на примере отдельных объектов-водохранилищ, мелиорированных полей, осушенных болот и т.п. (экскурсия).

Тема 4. Популяции сообщества и их охрана (4 ч, в том числе 2 ч на практические работы)

Границы и ареалы популяций. Возрастная структура популяций, рождаемость и смертность. Рост популяции и воспроизводство. Саморегуляция в естественных популяциях. Регуляция популяций человека и их охрана.

Популяция человека и ее особенности.

Характеристика сообществ. Сукцессия.

Практическая работа: изучение пространственных и функциональных закономерностей какой-либо распространенной в данном регионе популяции животных.

Тема 5. Экология водной оболочки Земли и ее охрана (8 ч, в том числе 4 ч на практические работы)

Основные понятия о воде и гидросфере. Значение воды в природе и хозяйственной деятельности человека. Водопотребление. География водных ресурсов. Качественное и количественное изменение гидроресурсов под воздействием природных и антропогенных факторов. Основные способы защиты водных ресурсов от загрязнения и истощения. Экологические проблемы Аральского моря и прилегающих к нему регионов. Охрана водных ресурсов. Основы водного законодательства Узбекистана.

Практические работы: 1. Знакомство с водозаборными, водоохранными и иными гидротехническими сооружениями (экскурсия).

2. Обследование местных водных источников (родников, колодезев, рек, прудов, водоемов и т.п.), их картирование и описание (экскурсия).

Тема 6. Экология воздушной оболочки Земли и ее охрана
(4 ч, в том числе 2 ч на практические работы)

Атмосфера, ее строение и состав. Понятие о чистом и загрязненном воздухе. Виды загрязнений атмосферного воздуха. Глобальные изменения атмосферы и их влияние на биосферу. Промышленные центры и транспорт как основные загрязнители воздуха. Мероприятия и законодательство об охране атмосферного воздуха.

Практическая работа: обследование местности с целью выявления источников загрязнителей атмосферы (экскурсия), составление рекомендаций по предотвращению загрязнения воздуха.

Тема 7. Экология литосферы, охрана почв и недр Земли
(10 ч, в том числе 6 ч на практические работы)

Краткая характеристика твердой оболочки Земли (литосферы). Земные ресурсы. Почвы и их роль в жизни человека. Экология почвенного покрова. Экологически чистые пищевые продукты.

Загрязнение и эрозия почв. Закон Республики Узбекистан «О земле». Законодательство об охране и рациональном использовании земель.

Минеральные ресурсы и их значение. Понятие техносферы. Влияние добычи полезных ископаемых на биосферу и локальные экосистемы. Принципы рационального использования ресурсов недр.

Практические работы: 1. Изучение процессов эрозии почв в каком-либо районе и разработка мер по ее предотвращению (экскурсия).

2. Участие в мероприятиях по снегозадержанию, расчет влагосохранения на определенных участках сельхозугодий.

3. Сбор коллекций минералов, горных пород и образцов полезных ископаемых для геологического, географического или экологического кабинетов учебного заведения.

Лекция 8. Экология животного и растительного мира и его охрана
(12 ч, в том числе 8 ч на практические работы)

Живой организм и живое вещество. Состав организмов и биосферы в целом. Происхождение жизни. Эволюция организмов и экосистем.

Видовой состав животного мира. Роль животных в географической оболочке (биосфера) и хозяйственной деятельности человека. Влияние человека на животный мир. Законодательство об охране и использовании животного мира.

Классификация растений. Значение растений в босфере и локальных экосистемах, а также в деятельности человека. Леса и их ресурсы. География лесной растительности мира. Травянистая и травянисто-кустарниковая растительность. Охрана растительного мира.

Красная книга животных и растений.

Заповедники, заказники, национальные парки, их роль в охране животного и растительного мира.

Практические работы: 1. Изучение видового состава животных и определение их численности.

2. Посещение заповедных мест (экскурсия).

3. Учет площади и видового состава зеленых насаждений в районе учебного заведения.

4. Участие в работе по уходу за лесом, садом, культурными растениями, по озеленению территории.

Содержание экологической практики (14 ч)

1. Знакомство с природными условиями какой-либо местности (рельф, гидрография, климат, растительный и животный мир, сельское хозяйство, промышленность, экологическая обстановка).

2. Сбор фактического материала (описание точек наблюдений в полевых дневниках с отбором проб загрязнений воды и почвы, аномальных форм растений и т.п.).

3. Выявление и описание памятников природы (уникальные деревья, родники с лечебной водой, своеобразные формы скал, участки с растительностью, занесенной в Красную книгу и т.п.).

4. Составление экологической карты с нанесением на нее природных экосистем, источников загрязнений, проявлений эрозии почв, участков деградации растительного покрова и других неблагоприятных изменений среды.

Экологическая практика может проводиться в форме 2-3 дневного туристического похода и завершается составлением коллективного отчета.

5. Высшее образование

5.1. Для небробиологических специальностей вузов (подготовка бакалавров)

Программа рассчитана на 54 часа (38 лекций, 16 часов практических занятий) и завершается, как правило, экзаменом.

Введение

Экология и ее социально-экономическая значимость. Современные направления в экологии: алярмизм, экологические пессимизм и оптимизм, экологический волонтаризм и др. Экологическое обучение и воспитание. Экополитика.

Функционирование экосистем

Организация экосистем и их пространственно-временная характеристика. Равновесное и неравновесное состояние экосистем. Устойчивость экосистем, помехи. Сукцессия и климакс. Самоорганизация, саморегуляция, самоуправление. Функционирование фито- и зооценозов. Эволюция экосистем.

Антропогенное воздействие на биосферу и охрана природы

Народонаселение. Демографические проблемы и возможности биосферы. Антропогенное загрязнение биосферы (литосферы, атмосферы, гидросферы). Виды загрязнений: химическое, радиоактивное, тепловое, шумовое, электромагнитное. Контроль и управление качеством природной среды.

Природные ресурсы и рациональное их использование. Основные направления охраны окружающей среды: очистка газов и сточных вод, создание ресурсов-и энергосберегающих производств, утилизация и обезвреживание твердых отходов.

Война — главный враг нашего дома

Война, экономика, природопользование. Экологические следствия войны. Экологическое оружие. Термоядерная война — катастрофа для человечества и биосферы. Разоружение-кардинальный путь предотвращения войны.

Экология Узбекистана, охрана природной среды и природных ресурсов в республике

Основные направления эколого-экономической политики. Экологическое районирование территории. Экология атмосферного воздуха, водных и земельных ресурсов и их охрана. Минерально-сырьевые ресурсы и охрана недр. Отходы. Биологические ресурсы и их охрана. Особо охраняемые природные территории. Влияние состояния окружающей среды на здоровье населения.

Государственная экополитика, регулирование охраны природной среды и рационального природопользования. Система государственных контролирующих и регулирующих органов. Экономическое регулирование природопользования. Экологический мониторинг и экологическая экспертиза. Природоохранное законодательство.

Международное сотрудничество в области экологии, охраны окружающей среды и рационального природопользования.

5.2. Для небробиологических специальностей вузов (специальный курс)

Программа рассчитана на 18 часов (9 ч лекций и 9 ч практических занятий)

В дополнение к программе подготовки бакалавров предусматривается изучение избранных разделов инженерно-и (или) сельскохозяйственной экологии (в зависимости от профиля вуза).

Обучение завершается составлением специальной экологической части в выпускной квалификационной работе.

Основы инженерной экологии

Природно-промышленные системы (ППС). Методологические основы их выделения. Нообиогеоценоз. Территориально-производственный комплекс (ТПК). Структура ППС: компонентная, иерархическая, функциональная, морфологическая. Функционирование ППС: взаимодействие, влияние, воздействие.

Влияние производства на природную среду. Источники воздействия: источники нарушения и источники загрязнения. Инженерно-экологические показатели (технические, экологические, экономические) и их параметры. Методы оценки воздействия производства на природную среду (методы контрольных списков, метод матриц, анализ диаграмм потоков, совмещенный анализ карт). Этапы оценочного анализа. Управление воздействием на природную среду. Инженерно-экологический паспорт. Предельно-допустимые выборы (ППВ).

Методы инженерно-экологических исследований (теоретические, лабораторные, натурные). Инженерно-экологическое обследование. Инженерно-экологические мероприятия (инженерные, экологические, организационные). Инженерно-экологическая экспертиза проектных решений. Комплексные схемы повышения эффективности использования и охраны природных ресурсов на действующих предприятиях.

Экология сельского хозяйства

Экология почвенного покрова. Учение о почве: факторы почвообразования, состав и свойства почв, их типы. Человек и плодородие почв. Основные источники загрязнения почв. Природная и техническая эрозия почв. Оврагообразование. Латеритизация. Засоление почв. Нормирование допустимых концентраций вредных для человека веществ в почве. Охрана почв.

Экологические проблемы химизации сельского хозяйства. Борьба с вредными растениями, сорняками и грибковыми болезнями химическими и биологическими методами и ее необходимость.

альными и частично уже проверенными жизнью формами такого образования могут быть:

1. Привлечение специалистов различного профиля к активной экологической пропаганде (чтение лекций перед населением, выступления в средствах масс-медиа, общественная работа в различных экологических организациях и т.п.).

2. Информационно-просветительская деятельность (издание специальных и научно-популярных журналов, брошюр, создание экологических программ телевидения и радио и т.п.).

3. Проведение семинаров и научно-практических конференций по вопросам экологии на самых разных уровнях (от школьного, городского или районного до республиканского), конкурсов на лучшие проекты охраны природы, школьных олимпиад по тематике рационального природопользования и т.п.

4. Подготовка кандидатских и докторских диссертаций по экологической и природоохранной тематике.

5. Практикование наряду с государственной широко разветвленной общественной экологической экспертизы.

7. Экологическая переподготовка на ФПК

ФПК — наиболее распространенная форма послевузовского обучения и переподготовки бакалавров, поэтому она выделена в отдельную подпрограмму.

При этом необходимо учитывать, что единой программы для экологических подразделений или курсов ФПК не может быть как ввиду специфики самих ФПК, так и ввиду разнопрофильности бакалавров, проходящих на них переподготовку или повышение квалификации. Для бакалавров водного хозяйства актуальными будут одни вопросы, для технолога — другие, для медика — третьи и т.п.

Однако некоторые общие программные принципы все же могут быть намечены. К их числу могут быть отнесены следующие:

1. Новое в теории и практике экологии, ресурсосбережении и охране окружающей среды.

2. Анализ материалов ежегодных национальных докладов о состоянии окружающей среды и использовании природных ресурсов Республики Узбекистан.

3. Новые технологии охраны природной среды от промышленных и иных загрязнений (очистка газов, сточных вод, создание ресурсов и энергосберегающих технологий, утилизация и обезвреживание твердых отходов и т.п.).

4. Государственное регулирование природопользования и охраны природной среды (законодательство, государственные экологи-

ческие программы, экономическое регулирование, экомониторинг, экологическая экспертиза).

5. Международное сотрудничество в области экологии, использования природных ресурсов и охраны природы.

6. Задачи на ближайшие 5 лет в области повышения качества природной среды, использования природных ресурсов и информационно-просветительской экологической деятельности.

8. Литература

10.1. Руководящие и директивные источники

Каримов И.А. Узбекистан на пороге XXI века: угрозы безопасности, условия стабильности и гарантии прогресса. — Ташкент: Узбекистан, 1997. — 315 с.

Национальный доклад: О состоянии окружающей природной среды и использовании природных ресурсов в Республике Узбекистан. — Ташкент, 1998. — 104 с.

Первое национальное сообщение Республики Узбекистан по рамочной конвенции ООН об изменении климата — Ташкент, 1999. — 123 с.

Закон Республики Узбекистан «Об охране природы» от 09. 12. 1992.

10.2. Учебники и справочники

Дылис Н.В. Основы биогеоценологии. — М.: изд-во Моск. ун-та, 1978. — 160 с.

Наумов Н.П. Экология животных. — Высшая школа, 1963. — 618 с.

Одум Ю. Основы экологии. — М.: Мир, 1975. — 740 с.

Пономарева И.Н. Экология растений с основами биогеоценологии. — М.: Просвещение, 1978. — 208 с.

Сытник К.М. и др. Биосфера. Экология. Охрана природы. Справочное пособие. — Киев. Наукова думка, 1987. — 523 с.

Стадницкий Г.В., Родионов А.И. Экология. — М.: Высшая школа, 1988. — 272 с.

Иванов В.А. Инженерная экология. — Л.: изд-во Ленингр. ун-та, 1989. — 152 с.

Охрана природы. Справочник /Митрошкин К.П., Берлянд М.Е., Беличенко Ю.П. и др. — М.: Агропромиздат, 1987. — 269 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ САМООЦЕНКЕ ВЫПУСКНЫХ РАБОТ БАКАЛАВРОВ И МАГИСТЕРСКИХ ДАССЕРТАЦИЙ

1. Введение

В настоящее время выпускники вузов в своих дипломных работах выполняют, как правило, раздел (главу) «Охрана окружающей природной среды» или «Экологическое обоснование».

Однако в свете современных требований экологической науки этого явно недостаточно. Экологическая часть любого технического проекта, в том числе и учебного, не должна сводиться только к разработке и перечислению природоохранных и ресурсосберегающих мероприятий. Наоборот, эти мероприятия должны логически вытекать из глубокого анализа существующей экологической обстановки и научного прогноза возможных изменений природной среды при реализации того или иного технического решения. Кроме того, выпускник должен обладать необходимыми теоретическими знаниями и практическими навыками по инженерно-экологической экспертизе проектных решений.

Этим задачам и целям в наибольшей мере соответствует введение в структуру квалификационных выпускных работ раздела «Экологическая самооценка предложенных технических решений» (взамен существующих природоохранных разделов или как дополнение к ним). В некоторых случаях раздел может быть расширен до объема специальной части выпускной работы.

2. Общие положения

При экологической самооценке любого технического решения, в том числе и учебного, следует исходить из того, что экология явля-

ется теоретической основой охраны природы. В свою очередь, охрана природы — это практические меры и методы решения экологических задач.

Важнейшими экологическими задачами применительно к экологической самооценке выпускных работ является:

— характеристика экологической обстановки природной среды до начала реализации технических решений;

— изучение структуры и функционирования природно-промышленной системы (или систем), если таковая существует в данной местности (или же данная местность является частью природно-промышленной системы);

— анализ возможных воздействий технических решений и связанных с ними техногенно-антропогенных факторов на экосистемы и природные ресурсы данной местности;

— прогноз возможных изменений природной среды при реализации технических решений;

— разработка мероприятий по управлению экологическими процессами при реализации технических решений с целью сохранения и оптимизации среды обитания человека, использования биологических и небиологических природных ресурсов.

Важнейшей особенностью самооценки является ее обратная связь с основными разделами выпускной работы. Именно в разделе экологической самооценки должно быть отражено, как она повлияла на выбор и корректировку технологических, инженерных и проектно-конструкторских решений исходя из минимального ущерба окружающей природной среде и здоровью человека, сохранения природных систем, ограничения поступления в эти системы химических, тепловых, лучевых и иных загрязнителей.

В разделе экологической самооценки должны быть четко сформулированы и обоснованы инженерно-технические мероприятия, направленные на резкое ослабление или полное исключение экологических процессов негативного характера путем создания и внедрения безотходных и малоотходных технологий, максимальной утилизации сырья и отходов, совершенствования способов очистки отходов и способов сжигания топлива, использования альтернативных энергоносителей и т.п.

Вышеизложенные методические положения могут быть отнесены также к магистерским диссертациям.

3. Объем и структура раздела экологической самооценки

Объем раздела не должен превышать 15-20 страниц рукописного (10-15 стр. машинописного) текста.

Раздел иллюстрируется таблицами, а также следующими графическими приложениями: экологической картой-схемой, схемой

В подразделе «Характеристика природно-промышленного (или природно-аграрного) комплекса» необходимо дать краткое описание всех звеньев комплекса: промышленного, аграрного, коммунально-бытового. Промышленное звено характеризуется по основным отраслям (горное дело, металлургия, энергетика, машиностроение и др.). В аграрном звене кроме сельского хозяйства необходимо обратить внимание на состояние лесного и рыбного хозяйств, а в коммунально-бытовом звене—на жилой фонд, водоснабжение и канализацию, здравоохранение и рекреационное хозяйство. При анализе структуры комплекса в целом и отдельных его частей целесообразно выделить три его составляющие: абиотическую, биотическую и производственную. Необходимо показать, как функционирование любого вида производства (промышленного, сельскохозяйственного, коммунального) влияет на живые и неживые объекты окружающей природной среды. Подраздел иллюстрируется экологической картой-схемой и блок-схемой (см. рис. 1 и 2.).

В заключение данного подраздела необходимо отметить те изменения в структуре и функционировании природно-промышленного (аграрно-промышленного) комплекса, которые могут произойти после внедрения технических решений.

В подразделе «Рациональное использование и охрана водных ресурсов» необходимо кратко охарактеризовать системы водоснабжения, эффективность использования водных ресурсов, работу очистных сооружений, отстойников, хвостохранилищ, шламонакопителей, иловых прудов и т.п., количество и состав сточных, а также сбрасываемых и передаваемых другими потребителями вод, плановые и фактические показатели рационального использования водных ресурсов.

Подраздел «Охрана воздушного бассейна» должен содержать сведения о характере загрязнения атмосферного воздуха и источниках загрязнения, исходные данные для расчета рассеивания загрязняющих веществ, показатели эффективности работы пылегазоочистного оборудования, показатели выполнения плана по охране воздушного бассейна.

Подраздел «Рациональное использование и охрана земельных ресурсов» должен включать данные по землепользованию, формы нарушения земель в зоне действия предприятия, источником нарушения и загрязнения земель, а также осуществляемым мероприятиям по их технической и биологической рекультивации.

В подразделе «Рациональное использование и охрана недр и минеральных ресурсов» необходимо охарактеризовать объемы и характер добываемого минерального сырья, потенциальные (неразработанные) ресурсы полезных ископаемых, выработанные пространства и возможности их использования в народном хозяйстве,

выполнение плановых показателей по охране недр и рациональному использованию минеральных ресурсов.

Подраздел «Оперативные мероприятия» должен содержать сведения о работе предприятия (комплекса) в неблагоприятных климатических (метеорологических) условиях, а также о имевших место авариях, аварийных выбросах и сбросах.

В подраздел «Экологический мониторинг» необходимо охарактеризовать предлагаемую систему наблюдений за изменениями состояния природной среды, вызванными реализацией проектных решений. При этом необходимо учесть, что правильная построенная система наблюдений должна обеспечить прогнозирование развития этих изменений.

Секретариат ООН по окружающей среде определил экологический мониторинг как систему повторных наблюдений за элементами окружающей среды в пространстве и во времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленными программами. Объектами мониторинга могут быть природные, антропогенные и природно-антропогенные системы. Цель мониторинга — не только пассивная констатация фактов, но и проведение экспериментов, а также моделирование процессов в качестве основы прогнозирования. Поэтому при построении системы наблюдений необходимо продумать постановку экспериментов и осуществления моделирования экологических процессов (например, самоочистки сточных вод, обезвреживание отходов и т.п.).

Систему мониторинга следует разбить на блоки (например, на санитарный, экосистемный и др.), каждый из которых должен иметь свои задачи и свою базу обеспечения.

Наряду с приборными методами наблюдений необходимо предусмотреть возможность использования биологических индикаторов.

Подраздел «Экологическая оценка предлагаемых технических и технологических решений» является стержневым, так как именно в нем должен быть сделан вывод о целесообразности реализации выпускной работы по совокупности экологических критериев. При этом экологическая экспертиза осуществляется по всем вариантам технических и технологических решений. Может быть рекомендована следующая последовательность этапов экологической самооценки:

- составление блок-схем процессов и определение качественных и количественных параметров твердых, жидких и газообразных отходов;
- определение параметров возможных форм нарушения и (или) загрязнения природной среды;
- сравнение по этим показателям других возможных вариантов проектных решений;

— осуществление экономической оценки сравниваемых вариантов;

— составление графика разработки, проектирования и внедрения природоохранных и ресурсосберегающих мероприятий.

На стадии оценки воздействия производства на природную среду определяются показатели отдельно по каждому природному компоненту с их последующим совместным анализом. При выборе и планировании мероприятий необходимо проверить, как они влияют на другие компоненты, и учесть это влияние.

В подразделе «Управление экологическими процессами» необходимо рассмотреть мероприятия по контролю и управлению качеством атмосферного воздуха, воды, земель, недр и почвенного покрова. При этом необходимо учитывать, что наиболее эффективно управление природоохранной деятельностью может быть осуществлено при использовании преимущественно экологических методов.

Стратегическая задача выбора комплекса мероприятий заключается в достижении на основе их внедрения предельно допустимой интенсивности экологического воздействия по каждому источнику и каждому загрязняющему веществу или нарушающему природное равновесие фактору.

Управление экологическими процессами сводится к тактическим приемам задачи, например, за счет использования новейших достижений науки и техники. Подраздел иллюстрируется алгоритмом управления (см. рис. 3).

В кратких выводах по разделу необходимо дать четкую и обоснованную предшествующим материалам оценку возможных экологических, экономических и социальных последствий воздействия технических решений на природную среду.

5. Планирование учебной нагрузки

В качестве консультанта по экологической самооценке дипломных проектов целесообразно привлекать специалиста-эколога.

Объем консультирования по данному разделу — 2-3 часа учебной нагрузки на работу.

6. Нормативно-методическая база

При экологической самооценке дипломных проектов следует исходить из Концепции национальной безопасности, принятой в качестве Закона Республики Узбекистан от 29.08.97 г., в которой особое внимание уделено «обеспечению оптимальных экологических условий для жизнедеятельности человека и защиты здоровья людей, как жизненно важного интереса личности».

Природоохранную деятельность регламентирует Закон Республики Узбекистан «Об охране природы» от 09.12.1992 г. Целесообразно изучать и руководствоваться также следующими законами (и подзаконными актами): «О воде и водопользовании», «О земле», «О недрах», «Об особо охраняемых природных территориях», «Об охране атмосферного воздуха». «Об охране и использовании животного мира», «Об охране и использовании растительного мира» и др. Ряд полезных указаний и обобщений содержится в фундаментальной работе Призидента И. Каримова «Узбекистан на пороге XXI века: угрозы безопасности, условия стабильности и гарантии прогресса» (Ташкент, «Узбекистан», 1997).

При выполнении выпускных работ в области строительства следует руководствоваться «Требованиями строительных норм» КМК 1.03.01 — 96, включающими «Заявление о воздействии на окружающую среду» (на стадии ТЭО) и «Заявление об экологических последствиях» (на стадии рабочего проекта). Объем и состав работ по оценке воздействия на окружающую среду для любого вида антропогенной деятельности регламентируется нормативным документом РД 118. 0027214 52-96.

В начале 1997 года разработан и утвержден «Порядок организации и проведения Государственной экологической экспертизы», который определяет требования к документации, представляемой по всем объектам, предусмотренным ст. 25 Закона Республики Узбекистан «Об охране природы». Утвержден также «Перечень критериев оценки качества Государственной экологической экспертизы».

Весьма полезным может оказаться «Справочник эколога-эксперта», в котором указаны предельно-допустимые концентрации вредных веществ, собраны сведения о воздействии на окружающую среду опасных выбросов, отходов и т.п.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
-------------------	---

РАЗДЕЛ 1

ЭКОЛОГИЯ: ПРЕДМЕТ, ЗАДАЧИ, ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ

1.1. Экология как наука, ее подразделения и связи	9
1.2. Задачи экологии в условиях научно-технического прогресса	14
1.3. Экологическая система и биогеоценоз	17
1.4. Экологическая ниша, жизненная форма и ареал	25
1.5. Сообщество и популяция	32
1.6. Экологические факторы, их действие и взаимодействие	37
1.7. Экологические процессы	43
1.8. Экологические законы	46

РАЗДЕЛ 2

ОРГАНИЗМЫ: ТАКСОНОМИЯ, ЭНЕРГЕТИКА, ЭВОЛЮЦИЯ, ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

2.1. Таксономия (систематика) органического мира	55
2.2. Энергетика и термодинамика организмов	74
2.3. Организмы в координатах пространства и времени	87
2.4. Происхождение жизни	90
2.5. Эволюция организмов	101
2.6. Условия существования организмов	113
2.7. Биотические отношения	162
2.8. Влияние организмов на абиотическую среду	167

РАЗДЕЛ 3

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА: СОСТАВ, СВОЙСТВА, ЭВОЛЮЦИЯ, РОЛЬ В РАЗВИТИИ ЖИЗНИ

3.1. Природа и среда	180
3.2. Оболочки Земли, литосфера	182
3.3. Экологическая роль процессов горообразования	193
3.4. Тектогенез, климаты прошлого и их влияние на эволюцию жизни	200
3.5. Эволюция Космоса, космозойские эры	203

3.6. Вода — мать жизни. Структура воды	211
3.7. Общая характеристика гидросферы и ее эволюция	218
3.8. Экологическая роль дейтерия	227
3.9. Экологические проблемы Арала и Приаралья	230
3.10. Атмосфера как экологическая среда и ее эволюция	242
3.11. Экология озонового слоя	255
Заклочение. Научная картина мира как экологическая категория	262
Список литературы	265

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Предметный указатель	272
Приложение 2. Контрольные вопросы	282
Приложение 3. Основные термины и понятия	292
Приложение 4. Сквозная общенаучная образовательная программа по экологии (с основами охраны природы)	295
Приложение 5. Методические указания по экологической самооценке выпускных работ бакалавров, магистерских диссертаций	312
Приложение 6. Устав (Статут) Международной Академии биосферных наук (МАБИН)	322



ВАЛУКОНИС ГЕНРИКАС ЮОЗОВИЧ

Профессор, доктор геолого-минералогических наук.

Родился в Литве в 1939 г. Закончил Вильнюсский государственный университет (1962 г.) и аспирантуру при ЛГУ. Работал заведующим кафедрой в Вильнюсском Университете, Ивано-Франковском институте нефти и газа, Ферганском политехническом институте, Каршинском филиале ТИИИМСХ и др.

С 1989 года — профессор экологии и геологии горного факультета Украинской инженерно-педагогической Академии.

Автор свыше 250 научных публикаций, в том числе 4 монографий и свыше 100 изобретений и патентов.

Научный руководитель и наставник Ш.О. Мурадова

МУРАДОВ ШУХРАТ ОДИЛОВИЧ

Член-корреспондент Инженерной Академии Республики Узбекистан.

Родился в Каршинском районе Канкадарьинской области в 1953 г. Закончил Национальный Университет Узбекистана. (1975 г.). Работал инженером-гидрогеологом (1975-1977 гг), зав. кафедрой, деканом Каршинского филиала ТИИИМСХ, с марта 1997 года — 1-й проректор Каршинского инженерно-экономического института. С мая 2001 г. зав. каф. «Защита окружающей среды и экологии». Кандидат технических наук, доцент по специализации охрана окружающей среды и рациональное природопользование.



Награжден нагрудным знаком «Патриот высшего и среднего специального образования Узбекистана» (1999 г.). Член межвузовского научно-координационного совета при МГУ (2001 г.).

«МЕХНАТ»