

Р.Р.ГАБДУЛЛИН, И.В.ИЛЬИН, А.В.ИВАНОВ

ЭВОЛЮЦИЯ ЗЕМЛИ И ЖИЗНИ

**Учебное пособие
по геологическим и биологическим дисциплинам
для студентов вузов**

**Издательство
Московского университета
2005**

УДК 56
ББК 28.1
Г 12

Рецензенты: чл.-корр. РАН, доктор геол.-мин. наук, профессор
В.Р.Лозовский (МГГРУ); кандидат геол.-мин. наук,
доцент Л.Ф.Копаевич (МГУ)

Габдуллин Р.Р., Ильин И.В., Иванов А.В.

Эволюция Земли и Жизни. Учебное пособие по геологическим и биологическим дисциплинам для студентов вузов. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 162 с.

ISBN 5-211-06063-6

В книге кратко представлены основные сведения о происхождении Земли и особенностях ее развития, о появлении жизни на Земле и биологической эволюции. Приводятся данные о биосфере и ноосфере, экологии и палеоэкологии, о взаимодействии геоса и биоса.

Книга адресована в первую очередь студентам геологических и биологических специальностей вузов.

ISBN 5-211-06063-6

© Р.Р.Габдуллин,
И.В.Ильин,
А.В.Иванов, 2005

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Глава 1. Происхождение и строение Земли	7
Глава 2. Основные этапы и события в геологической истории Земли и жизни на ней	16
Глава 3. Особенности живого	66
Глава 4. Проблема происхождения жизни на Земле	102
Глава 5. Краткие сведения об эволюционном процессе	110
Глава 6. Документы геологической летописи	119
Глава 7. Биосфера и ноосфера	133
Глава 8. Экология и палеоэкология	139
Заключение	157
Список использованных источников	159

Введение

Вопросы происхождения и развития Земли и жизни на ней во все времена вызывали повышенный интерес в человеческом обществе, и в особенности волновали ученых. Это вполне объяснимо — трудно переоценить их значение для понимания человеком окружающего мира. Не случайно именно эти вопросы стали одной из причин вечно непростых отношений науки и религии.

В последние годы появляются и развиваются большое число междисциплинарных направлений, давших начало новым наукам: геоэкологии, экологической геологии и др., в которых все теснее переплетается проблематика наук о земле и наук о жизни.

Разнообразных публикаций, от небольших статей и докладов до очень серьезных монографий, посвященных этим вопросам, — огромное количество.

В данной работе авторы ставили своей целью краткое освещение отдельных, наиболее, на наш взгляд, интересных и проблемных аспектов образования и развития Земли и жизни на ней. Создание альянса разнообразных вопросов геологической и биологической проблематики оказалось очень непростым, и насколько попытка удалась — судить читателям книги. Авторы будут признательны за конструктивную критику и предложения по улучшению книги.

Любую науку можно рассматривать как совокупность знаний и методов. *Естественнонаучные знания* — это сумма фактической информации о материальном мире, накопленная путем применения тех или иных *научных методов*. *Факты* основываются на прямых или косвенных *наблюдениях*, выполненных с помощью органов чувств исследователя и приборов, усиливающих действие этих органов. Все факты, относимые к опреде-

ленной проблеме, называют *данными*. Наблюдения бывают качественными и количественными.

В результате исследований получают материал для формирования *гипотезы* — основанного на данных предположения, с помощью которого можно дать удовлетворительное объяснение наблюдаемым явлениям. А.Эйнштейн подчеркивал, что гипотеза должна выполнять две основные функции: 1. — она должна объяснять все наблюдаемые явления и факты, касающиеся данной проблемы, и 2. — гипотеза должна обеспечивать возможность предсказания новых знаний. Новые наблюдения, не подтверждающие гипотезу, должны приводить к ее изменению или даже полному отказу от нее. Для оценки обоснованности гипотезы необходимо запланировать и провести серию экспериментов с целью получения новых результатов (так называемая *контрольная серия*).

Наиболее приемлемая гипотеза становится *рабочей гипотезой* и при условии объяснения всех накопившихся фактов и предсказания ранее неизвестных фактов со временем может стать *теорией*. Если теорию не способны изменить никакие появляющиеся в дальнейшем факты, а встречающиеся от нее отклонения регулярны и предсказуемы, то ее можно возвести в ранг *закона*.

Основу методологии составляют следующие основные *методы*.

Метод наблюдения дает возможность анализировать и описывать биологические явления. Чтобы выяснить сущность явления, проводится сбор фактического материала. Метод широко распространен в зоологии, ботанике и экологии.

Сравнительный метод (используется с 18 века) позволяет посредством сопоставления изучать сходство и различие биологических систем в целом и их отдельных

составляющих частей. На нем основывается, например, систематика органического мира, клеточная теория. Применение этого метода в анатомии, палеонтологии и эмбриологии способствовало утверждению в биологии эволюционных представлений.

Исторический метод позволяет выяснить закономерности возникновения и развития биологической системы, становления ее структуры и функции. Он позволяет также прогнозировать с помощью выясненных закономерностей развитие биологических и геологических систем.

Экспериментальный метод предполагает целенаправленное создание ситуации, аналогичной таковой в какой-либо системе. Метод позволяет исследовать явления изолированно и добиваться их повторяемости при контроле за условиями. Эксперимент обеспечивает не только более глубокое по сравнению с другими методами проникновение в сущность явления, но и овладение этим явлением. По словам И.П.Павлова, «Наблюдение собирает то, что ему предлагает природа, опыт же берет у природы то, что он хочет».

Моделирование — один из основных новейших научных методов. Широко используется, например, в современной экологии. Представляет собой метод изучения какого-либо процесса или явления через воспроизведение его самого или его основных свойств в виде модели. *Образная модель* может быть переведена в *знаковую* (соотношения в модели получают математическое выражение), и дальнейшее моделирование проводится с помощью математических расчетов. Преимущество метода — возможность рассмотрения поведения исследуемой биосистемы при *любых* условиях, включая крайние и вообще нереальные.

Глава 1. Происхождение и строение Земли

Земля — третья от Солнца планета Солнечной системы, обращающаяся вокруг него по эллиптической орбите со средней скоростью 29,765 км/с на среднем расстоянии 149,6 млн км за период, равный 365,24 средних солнечных суток. Имеет спутника — Луну, обращающуюся вокруг Земли на среднем расстоянии 384400 км. Наклон Земли к плоскости эклиптики $66^{\circ}33'$, период обращения вокруг своей оси составляет 23 ч 56 мин 4,1 с. Вращение вокруг оси вызывает смену дня и ночи, наклон оси и обращение вокруг Солнца — смену времен года.

Форма Земли по представлениям различных ученых — геоид, приближенно — трехосный эллипсоид или сфероид. Средний радиус — 6371,032 км, экваториальный — 6378,160, полярный — 6356,77 км. Площадь поверхности 510,2 млн км², объем $1,083 \times 10^{12}$ км³, средняя плотность 5518 кг/м³, масса 5976×10^{21} кг. Земля обладает магнитным и тесно связанным с ним электрическим полями. Гравитационное поле обуславливает сферическую форму Земли и существование атмосферы (Советский энциклопедический словарь, 1982).

По современным космогоническим представлениям, Земля образовалась около 4,7 млрд лет назад из рассеянного в протосолнечной системе газовой-пылевой вещества. В результате дифференциации вещества Земли, под действием ее гравитационного поля, в условиях разогрева земных недр возникли и развились различные по составу, агрегатному состоянию и физическим свойствам оболочки-геосферы: ядро (в центре), мантия, земная кора, гидросфера и атмосфера (рис. 1.1). В составе Земли преобладает железо (34,6%), кислород (29,5%), кремний (15,2%), магний (12,7%). От поверхности к центру Земли возрастают давление, плотность и

температура: давление в центре Земли — $3,6 \times 10^{11}$ Н/м², плотность около $12,5 \times 10^3$ кг/м³, температура 4000 — 5000°С. Основные типы земной коры — материковый и океанический; в переходной зоне от материка к океану развита кора промежуточного строения.

Большая часть земли занята Мировым океаном (361,1 млн км² — 70,8%); средняя глубина океана около 3800 м, наибольшая — 11022 м (Марианский желоб в тихом океане), объем воды 1370 млн. км³, средняя соленость 35 г/л. Суша составляет 149,1 млн км² (29,2%) и образует шесть материков и острова. Она поднимается над уровнем Мирового океана в среднем на 875 м (наивысшая точка — вершина горы Джомолунгма (8848 м)); горы занимают свыше 1/3 поверхности суши. Пустыни покрывают около 20% поверхности суши, саванны и редколесья — около 20%, леса — около 30%, ледники — более 10%. Свыше 10% суши заняты сельскохозяйственными угодьями. Атмосфера Земли, общая масса которой $5,15 \times 10^5$ т, состоит из воздуха — смеси в основном азота (~78,08%) и кислорода (~20,95%), остальную часть составляют водяные пары, углекислый газ, инертные и другие газы. Максимальная температура поверхности суши 57 — 58°С (в тропических пустынях Африки и Северной Америки), минимальная — около -90°С (в центральных районах Антарктиды).

Распределение солнечной энергии, поступающей на Землю, по широте и высоте над уровнем моря вызывает в пределах географической оболочки закономерную смену климата, растительного и животного миров, почв.

Выше была приведена характеристика современной Земли — планеты Солнечной системы, которая вместе с другими космическими телами эволюционировала во времени. Происхождение Земли, формирование и развитие ее геосфер будет описано ниже.

Прежде всего рассмотрим позицию нашей планеты среди других астрономических тел. Считается, что все космические тела образуют Вселенную, которая бесконечна (рис. 1.2).

На данный момент сложились представления о двух возможных моделях Вселенной (Миттон, Миттон, 1995). Согласно первой, Вселенная однородна – вещество и излучение распределены в ней относительно равномерно. Вселенная изотропна, то есть пространство одинаково во всех направлениях. В неоднородной Вселенной (вторая модель) излучение и вещество распределяются неравномерно. В анизотропной Вселенной процессы расширения по разным направлениям неодинаковы.

По новейшим представлениям, Вселенная образовалась 17 млрд лет назад в результате большого взрыва. Будущее Вселенной неизвестно: будет ли она безгранично расширяться или сжиматься.

Как же эволюционируют звезды, формирующие галактики? Одним из важных вопросов является следующий – что послужило толчком для начала конденсации газа и пыли в протозвездную туманность? Существуют две концепции (Хаин, 1995).

Первая, эволюционная концепция предполагает образование протозвездной (например, протосолнечной) туманности из рассеянных газа и пыли под воздействием гравитационного сжатия. Затем формируются уплотнения внутри таких облаков, которые преобразуются в молодые звезды типа нашего Солнца, окруженные протопланетным диском.

Вторая, катастрофическая концепция исходит из взрыва Сверхновой звезды (рис. 1.3) в окрестностях будущей Солнечной системы, что могло привести к появлению на свет всего разнообразия химических элементов, а ударная волна взрыва могла стимулиро-

вать начало конденсации межзвездной материи, приведшей в конечном счете к образованию Солнца и протопланетного диска.

Иллюстрацией первой, эволюционной концепции может служить следующий эволюционный ряд для звезды и ее системы (рис 2.3). На первом этапе (1) внутри облака, состоящего из молекул, возникают скопления водорода и пыли (1а). Далее в центре одного такого образования рождается протозвезда (1б). Материал мигрирует с обоих полюсов тела и собирается в экваториальной части (1в). Вокруг звезды возникает диск пыли и газа — генератор планетной системы (1г, рис. 1.4).

Далее, на втором этапе (2) из диска за 100 млн лет могут сформироваться планеты. Туманность аккумулируется вокруг протозвезды (2а), охлаждается, в ее недрах рождаются и «набухают» сгустки, из которых через 50 млн лет возникают газовые планеты (2б). Наконец, во внутренней системе звезды из твердого вещества формируются две планеты (2в). Данная теория разделяется рядом исследователей США и Западной Европы.

Следует отметить, что существует много иных гипотез происхождения планетной системы у звезды (Хаин, 1995). Рассмотрим наиболее близкую к вышеупомянутой. Суть этой *теоретической модели А.Макалкина* в том, что планеты Солнечной системы возникают в результате распада протопланетного диска на отдельные планеты внутренней и внешней групп с поясом астероидов между ними. Промежуточной фазой было образование роя твердых и довольно крупных, до сотен километров в диаметре, тел, именуемых планетезималиями, последующее скопление и соударение которых и явилось процессом аккреции (наращивания) планеты (рис. 1.6).

Гипотеза Дж.Джинса постулирует происхождение планет Солнечной системы выбросом солнечной материи под влиянием сближения Солнца и другой звезды. Установлено существование двойных звезд и обмен между ними слагающим их материалом. Кроме того, известны факты захвата одних галактик другими (рис. 1.7).

Гипотеза О.Ю.Шмидта допускает захват Солнцем темной галактической туманности, состоящей из пыли и метеоритов, что послужило материалом для образования планет.

Гипотеза А.А.Маракушева постулирует происхождение планет Солнечной системы из кометного вещества, состоявшего из водородного льда с «хвостом» из рыхлого пылевого материала.

Рассмотрена не вся эволюция звезды, а только ее возникновение и формирование планетной системы. Сама звезда может рождаться, развиваться и исчезать по нескольким сценариям (рис. 1.8). В верхней половине рисунка изображены стадии жизни от появления из туманности (I) до исчезновения сравнительно массивной звезды (2 – 4), способной стать красным сверхгигантом (5), а затем взорваться сверхновой звездой (6) и превратиться в нейтронную звезду (7а) или черную дыру (7б). Нижняя часть рисунка иллюстрирует стадии развития менее массивной звезды, например Солнца. Из туманности (I) возникает звезда, выделяющая энергию путем перехода водорода в гелий. Этот синтез может продолжаться приблизительно 10 млрд лет, пока запасы водорода не иссякнут (II – VI). Далее водород выгорает не в центре, а на периферии, что приводит к увеличению размеров звезды (VII – IX), а температура на поверхности звезды понижается. Так возникают красные гиганты (IX) и сверхгиганты (5, верхний ряд). Затем Солнце станет сжиматься с образованием пла-

нетарной туманности (X), а потом — плотного белого карлика (XI). Далее звезда угаснет. Звездное вещество после смерти звезды трансформируется в туманности и используется повторно в качестве материнского материала для новорожденных звезд.

Приведено описание возможных сценариев развития звезд и их планет. После образования Вселенной в результате предполагаемого «большого взрыва» 17 млрд лет назад сформировалась наша галактика — Млечный путь (примерно 10 — 12 млрд лет назад). В галактике возникла звезда — Солнце со своей системой планет около 8 — 9 млрд лет назад. Земля как планета Солнечной системы сформировалась приблизительно 4,7 млрд лет назад. В каком состоянии была Земля: горячей или холодной?

На этот счет существуют различные представления (Хаин, 1995).

1. Изначально горячая огненно-жидкая Земля — *классическая космогоническая гипотеза Канта—Лапласа*.

2. Изначально холодная Земля, недра которой в дальнейшем начали разогреваться вследствие выделения тепла естественно-радиоактивными элементами (50-е г.г. XX в.).

3. Изначально существенно горячая Земля, вплоть до частичного или полного плавления ее вещества еще на стадии аккреции, из-за выделения тепла при соударении планетезималей (1960 — ныне, господствует сейчас).

4. Изначально холодная Земля, разогрев которой связан с твердыми лунными приливами — *гипотеза О.Г.Сорохтина и С.А.Ушакова*. Утверждается позднее формирование ядра Земли на рубеже архея и протерозоя, которому противоречит факт обнаружения остаточной намагниченности у пород с возрастом около 3,5 млрд лет, ибо магнитное поле земли связано с ее жидким ядром (1991).

В каком состоянии была Земля: однородной или неоднородной (Хаин, 1995)?

1. Ранняя дифференциация Земли на оболочки и, прежде всего, на силикатную мантию и железное ядро, или *концепция гомогенной аккреции (доминирует в настоящее время)*.

2. Возникновение ядра Земли за счет падения железных метеоритов, которое затем нарастилось мантией за счет падения каменных метеоритов и далее, возможно, земной корой, отвечающей по составу углистым хондритам (метеориты). Такая концепция носит название *гетерогенной аккреции (выдвинута К. Турекьяном в США, поддержана А.П. Виноградовым в России)*.

3. *Компромиссная концепция О.Л. Кускова и Н.И. Хитарова*. В ходе аккреции сначала образовалось внутреннее ядро Земли, а остальные оболочки, включая внешнее ядро, являются продуктами дифференциации.

Вместе с формированием ядра сформировались протомантия и протокора.

Расширяется или сжимается Земля?

Существует ряд точек зрения на изменение объема Земли в течение ее геологической истории (Хаин, 1995).

1. Земля, остывая, сокращается в объеме — *контракционная гипотеза Л. Эли де Бомона (1832, Франция)*. Этим процессом объяснялись складчатые деформации и возникновения горных систем.

2. *Пульсационная гипотеза А. Грабау, У. Бухер (США) и Дж. Умбгрове (Нидерланды), вторая половина XIX в.*: радиус Земли попеременно то увеличивается, то уменьшается.

3. *Экспансионная гипотеза О. Хильгенберга (Германия) и Л. Эдъеда (Венгрия), 30-е гг. XX в.*: Земля расширяется.

4. *Гипотеза тектоники литосферных плит, 60-е гг. XX в. (ныне главенствует)*: объем Земли неизменен. Об-

разование гор и океанов объясняется перемещением тектонических плит.

5. «Комбинированная» гипотеза В.Е.Хаина: пульсация Земли и действие тектоники литосферных плит происходят на фоне весьма медленного, но неуклонного сжатия Земли (Хаин, 1995).

С вопросом происхождения Земли связан другой вопрос – происхождение ее единственного спутника Луны. Граничными условиями для гипотез являются факты (Хаин, 1995): 1 – Луна должна была возникнуть не позднее 4,2 млрд лет – возраста ее древнейших базальтов, то есть одновременно с Землей, либо вскоре после окончания ее формирования; 2 – состав лунных пород близок к составу мантии Земли, отличаясь в основном лишь пониженным содержанием летучих; 3 – железное ядро у Луны отсутствует, судя по ее плотности, сравнимой с плотностью мантии Земли, и по отсутствию магнитного поля (слабое поле существовало в прошлом).

1. Земля и Луна образовались одновременно из одного и того же газопылевого облака. В случае гомогенной аккреции они должны были иметь одинаковый состав, чего в действительности не наблюдается.

2. Луна оторвалась от Земли на ранней стадии ее истории, когда последняя была расплавленной и очень быстро вращалась. Но эта гипотеза не объясняет, почему Луна не вращается в плоскости земного экватора, а также распределение моментов количества вращения в системе Земля–Луна.

3. Захват Луны Землей: допускается ее независимое от Земли образование. Новейший вариант этой гипотезы выдвинули *О.Г.Сорохтин* и *С.А.Ушаков* в 1991 г. Приближение к земле гипотетической Протолуны, ее разрушение по достижении *предела Роша* (расстояние около 2,5 земного радиуса, на котором уже

сказывается притяжение Земли, заставляющее тела падать на Землю) под влиянием гравитационного воздействия Земли и воссоздание Луны из обломков, оказавшихся за пределом Роша.

4. Косой удар об Землю крупного тела, размером примерно с Марс (0,5 диаметра и 0,1 объема Земли) с последующим выбросом вещества мантии Земли в околоземное пространство с дальнейшим формированием Луны из этого вещества – гипотеза У.Хартмана и Д.Дэвиса (США, 1975 г.).

Глава 2. Основные этапы и события в геологической истории Земли

Самыми древними геологическими документами на Земле являются обломочные зерна цирконов с возрастом до 4,4 млрд лет, найденные в западноавстралийских кварцитах с возрастом порядка 3,5 млрд лет. Таким образом, время, отделяющее стадию завершения формирования нашей планеты, ее аккреции (4,6 млрд лет) от возраста древнейших на Земле пород и составляющее 0,2 млрд лет, не охарактеризовано каким-либо каменным материалом, хотя в это время сформировались основные земные протосферы. В связи с этим неудивительно, что в освещении данного этапа существуют значительные разногласия.

2.1. Основные этапы в геологической истории Земли

Древнейшая история нашей планеты восходит к докембрию, криптозою, или времени скрытой жизни, когда существовали бесскелетные организмы. Расчленение этого временного интервала на более дробные единицы также вызывает дискуссии. Ниже приведены две геохронологические шкалы времени докембрия (таб. 2.1, 2.2).

Этап 1. Архей (4 – 2,5 млрд лет), 4,3 – 3,8 млрд лет – метеоритная бомбардировка Земли и Луны с кульминацией около 4 млрд лет (Хаин, Короновский, Ясаманов, 1997). Этот процесс играл важную роль в разогреве коры, ее дегазации. Пейзаж Земли после бомбардировки метеоритами был похож на современный лунный, где он сохранен из-за отсутствия атмосферы и процессов выветривания.

Протоатмосфера Земли, формировавшаяся за счет дегазации мантии, состояла из H_2O , CO_2 , CH_4 , CO , H_2S , SO_2 , HCl , HBr , HF , Ar , N и целого ряда других газов и

соединений, частично растворившихся в воде протоокеанских бассейнов; еще тонкая атмосфера должна была находиться в равновесии с гидросферой. Все это предопределило существование гидросферы и атмосферы с самых ранних стадий развития Земли, хотя воды еще было мало и состав ее отличался от современного — воды были хлоридными и сульфатными.

Таблица 2.1

Международная геохронологическая шкала докембрия (Renne et al., 2000), утвержденная на международном геологическом конгрессе в Бразилии в 2000 г.

Эон	Эра	Период	Время, млн лет	
Протерозой	неопротерозой	неопротерозойский III	540	
		криогенийский	650	
		тонийский	850	
	мезопротерозой	стенийский	1000	
		эктазийский	1200	
		калыммийский	1400	
	палеопротерозой	статерийский	1600	
		орозийский	1800	
		рхвацийский	2050	
		сидарийский	2300	
	Архей	неоархей	общепринятых подразделений нет	2800
		мезоархей		3200
палеоархей		3600		
эоархей		4000		

В ранний период вследствие близкого расположения Луны к Земле из-за огромных приливов на последней происходили непрерывные и очень сильные землетрясения, которые нивелировали рельеф.

В период 4,2 – 4 млрд лет назад Земля развивалась аналогично другим планетам земной группы. Начиная с этого рубежа ее развитие пошло по другому пути, выражением чего стало формирование континентальной коры и разделение земной поверхности на участки суши и морские (в дальнейшем океанские) бассейны.

Таблица 2.2

Геохронологическая шкала докембрия Северной Евразии.

Акрон	Эон	Эра	Период		
Протерозой	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">поздний</div> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">рифей</div> </div>	540	венд	ранний	
					поздний
		Δ байкальская	поздняя (каратавий)	650 ± 20	
		Δ гренвильская	средняя (юрматиний)	1000 ± 50	
		Δ готская	ранняя (бурзяний)	1350 ± 50	
		Δ карельская	поздний карелий	1600 ± 50	
	ранний (карелий)				
	2500 ± 50	1900 ± 50			
Архей	ранний	3150 ± 50	ранний карелий		
	поздний	4000 ± 50			

Примечание: Δ – тектоно-магматическая эпоха, фаза складчатости

Первичная континентальная кора отличалась от той, которая в настоящее время слагает фундамент

континентальных платформ — кратонов, меньшим содержанием кремнезема и щелочей, особенно оксида калия. Поэтому правильнее называть ее протоконтинентальной. Там, где эта кора сохранилась, она представлена довольно однообразной ассоциацией пород, которая была сперва названа серыми гнейсами, а в настоящее время более точно именуется тоналит-трондъемит-гранодиоритовой ассоциацией (ТТГ), сформировавшейся в раннем архее 4 — 3,5 млрд лет назад.

Итак, к концу первого миллиарда лет существования Земли на ее поверхности появились первые «острова» протоконтинентальной коры ТТГ состава. В период 3,5 — 2,5 млрд лет назад началось формирование основной массы континентальной коры, отвечающей в своей верхней части нормальным К-Награнитоидам. На этом этапе было образовано 60—85% современной континентальной коры толщиной не менее 35 — 40 км. Толщина литосферы, на предыдущем этапе равная толщине коры и лишь немного ее превышавшая, возросла до величины не менее 150 км, о чем свидетельствуют находки алмазов архейского возраста, которые должны были образоваться в литосферной мантии.

Консолидированная континентальная кора тогда была представлена вытянутыми в одном направлении, реже образующими петельчатый рисунок зеленокаменными поясами (ЗКП) — прогибами и разделяющими их более широкими полями гранито-гнейсов. Последние, как правило, более молодые и содержат вкрапленники более древних «серых гнейсов» ТТГ состава. Подчиненное место в структуре древних эпиархейских кратонов (эократонов) занимают сформированные в конце архея гранулит-гнейсовые пояса (ГГП). Таким образом, ЗКП и поля гранито-гнейсов (вместе с гранит-зеленокаменными областями — ГЗО) и ГГП составляли континентальную кору.

Итак, предполагается эволюционная цепочка от первых островов протосиала, появившихся в раннем архее, через микроконтиненты – эократоны ГЗО, сформированные в среднем-позднем архее за счет аккреции магматических дуг к этим островам, и далее к континентам и суперконтиненту, в который стянулась вся сиалическая кора в конце архея. Охватывала ли континентальная кора в конце архея всю поверхность Земли целиком или нет? Возможно, что:

1. не вся поверхность была покрыта континентальной корой, а значит, на остальной части была распространена океаническая кора. Следовательно, к началу протерозоя поверхность Земли разделилась на суперконтинент – *Пангею-0* и Мировой океан – *Панталассу*. Прямые доказательства существования такого океана, реликтом которого считается современный Тихий океан – *Пацифик*, появляются начиная с позднего протерозоя.

2. вся поверхность была покрыта континентальной корой. В этом случае радиус Земли был существенно меньше, чем современный (*концепции расширяющейся Земли, пульсационная*).

Этап 2. Протерозой (2,5 – 0,5 млрд лет). В конце раннего протерозоя возник новый гигантский материк – *Пангея-1*. На протяжении рифея *Пангея-1* не была монолитным суперконтинентом, испытывала растяжение и деструкцию, а в позднем рифее раскололась на две части: северную – *Лавразию* и южную – *Гондвану*. Между ними возник подвижный пояс – *Прототетис*. В ряде других мест континентальные блоки также испытали растяжение и раскол с образованием рифтовых систем и *Кельтского* океана (*Протояпетус*). Затем большая их часть полностью закрылась, и к венду на планете существовал вновь сверхматерик – *Пангея-1*. Основные тектоно-магматические эпохи позднего протеро-

зою (карельская, готская, гренвильская и байкальская) и их время происхождения приведены в таб. 2.2.

Этап 3. Палеозой (540 – 250 млн. лет). Геохронологическая шкала палеозойской эры приведена в таб. 2.3.

Таблица 2.3

Международная геохронологическая шкала палеозоя (условные обозначения приведены в таб. 2.2).

Эон	Эра	Период	Эпоха	Время, млн. лет (Gradstein et al., 1994)	Тект. этап			
Фанерозойский РН	Палеозойская РZ	Пермский Р	Δ пфальцская	Поздняя	272,2±3,2	Герцинский		
			Δ заальская	Ранняя				
		Δ позднегерцинская (уральская)					295,5±5	
		Каменноольный С	С	Δ астурийская	Поздняя		315±0,15	
					Средняя			
				Δ судетская	Ранняя		320	
					Δ бретонская		Поздняя	355±5
							Δ акадская	Средняя
		Девонский D	D		Ранняя		390±5	
					Поздняя		410±8,5	
		Силурийский S	S		Поздняя		425±5	Каледонский
					Ранняя		435±6,4	
					Поздняя		455±5	
		Ордовикский O	O		Средняя		465±5	
					Ранняя		500	
					Поздняя		520	
		Кембрийский С	С		Средняя		540±5	
Ранняя								

Кембрийский период. К началу кембрия древние платформы Южной Америки, Африки, Австралии и Антарктиды соединились в суперконтинент — *Гондвану*. В противоположность Гондване, где господствовала тенденция к объединению обломков протерозойской *Пангеи-1*, остальные фрагменты последней с начала кембрия подверглись рассеянию из-за возникновения между ними новообразованных океанских бассейнов (рис. 2.1). Первый — Протоатлантический океан, или Янетус, — отделил Северную Америку и Гренландию (вместе — *Лаврентия*) от Европы — *Фенносарматии* (Восточно-Европейской платформы). Вторым — Палеоазиатский океан — отделил Восточную Европу от Восточной Сибири, а последнюю от Таримского и Китайско-Корейского континентов. Третьим — Средиземноморский, или Палеотетис, — омывал с севера Гондвану и отделял ее от Северной Америки, Восточной Европы, Таримского и Китайско-Корейского континентов. Все три океана соединялись между собой и четвертым океаном — Палеопацификой.

На рубеже среднего и позднего кембрия произошел *салаирский* орогенез — *салаирская* фаза *каледонской* складчатости (таб. 2.3).

Ордовикский период. В раннем ордовике *Гондванский* суперконтинент стал смещаться к югу и в среднем ордовике достиг полюса (рис. 2.2).

Океан Янетус продолжал расширяться. *Восточно-Европейский* континент начал испытывать смещение к северо-западу, а в его тылу раскрылся Уральский глубоководный бассейн. Межматериковые океаны — Янетус, Палеотетис, Палеоазиатский, Арктический — в среднем ордовике достигли максимальной ширины. В конце периода произошла *таконская* фаза *каледонской* складчатости.

Силурийский период. Гондвана находится в южном полушарии, причем в основном в его высоких широтах (рис. 2.3).

Для Янетуса расширение сменяется тенденцией к закрытию этого бассейна с кульминацией в конце периода. Происходит столкновение Северной Америки с Восточной Европой с образованием Лавруссии (Евроамерики). Палеотетис расширяется. В результате позднекаледонской фазы орогенеза возникает ряд горных сооружений.

Девонский период (рис. 2.4).

Лавруссия в раннем девоне располагалась в экваториальных широтах, Казахстан — в тропической зоне, Сибирь, Китай и Корея — в умеренных широтах Северного полушария, в то время как Гондвана находилась в южном полушарии в его умеренных и высоких широтах. В среднем девоне по периферии Лавруссии в результате акадского орогенеза возникли горные сооружения. К концу девона размеры Палеоазиатского океана начали сокращаться.

Каменноугольный период. Лавруссия в раннем карбоне сближается с Гондваной. Палеотетис, почти замкнувшийся в Западном Средиземноморье, резко расширился к востоку, сливаясь здесь с Палеопацификой. В среднем—позднем карбоне происходит столкновение Лавруссии с Гондваной, что становится началом формирования Пангеи-2 (рис. 2.5). Размеры Палеоазиатского океана сокращаются. Различные области охвачены фазами орогенеза герцинского тектонического этапа (таб. 2.3).

Пермский период. К началу перми завершилось смыкание Лавруссии с Сибирью и становление Лавразии, которая, сомкнувшись с Гондваной, образовала Пангею-2 (рис. 2.6), омываемую Палеотетисом и Палеопацификой. Суперматерик был вытянут по меридиану, так что южная Гондвана достигала полюса, а Сибирь высоких ши-

рот, что способствовало развитию оледенения (подробно в следующем разделе). К концу перми площадь *Пангеи-2* увеличилась за счет регрессии океана и орогенеза.

Этап 4. Мезозой (250 – 65 млн лет). Геохронологическая шкала мезозоя приведена в таб. 2.4.

Триасовый период, также как и пермский, был *геократическим*. *Пангея-2* сохраняет свою монолитность и омывается *Тетисом* и *Тихим океаном* (рис. 2.7). Однако усиливаются процессы рифтогенеза и растяжения на отдельных участках суперматерика. Завершается триас *индосинийской* фазой *киммерийской* складчатости.

Таблица 2.4

Геохронологическая шкала мезозоя и кайнозоя (условные обозначения приведены в таб. 2.2).

Эон	Эра	Период	Эпоха	Время, млн. лет	Тект. этап
Фанерозойский РН	Кайнозойская CZ	Четвертичный Q	Голоцен	0,95±0,05	Альпийский
			Плейстоцен	1,75±0,05	
		Неогеновый N	Плиоцен	5,3±0,15	
			Миоцен	23,5±1	
		Палеогеновый P	Олигоцен	33,7±0,5	
			Эоцен	53±1	
			Палеоцен	65±0,5	
	Мезозойская MZ	Меловой K	Поздняя	96±2	Киммерийский (мезозойский)
			Ранняя	135±5	
		Юрский J	Поздняя	154±5	
			Средняя	175±3	
			Ранняя	203±3	
		Триасовый T	Поздняя	230±6	
			Средняя	240±5	
	Ранняя	250±3			

Юрский период (рис. 2.8). Раннеюрская эпоха — время существования *Пангеи-2*, которая затем начинает распадаться в средней юре с возникновением *Атлантического* океана. В поздней юре начинается деструкция *Гондваны* и образование *Индийского* океана.

Раскол *Гондваны* на западную и южную части не привел еще к их полному разделению, так как Индия и Австралия (юг) и Южная Америка и Африка (запад) были связаны с Австралией. В конце эпохи произошел *невадийский* орогенез.

Меловой период. Начавшийся в конце средней юры распад *Пангеи* продолжается с возрастающей интенсивностью, особенно в апте—альбе. В раннемеловую эпоху формируется *Южная Атлантика*. В конце раннего мела происходит соединение *Южной и Центральной Атлантики*. Расширяются *Карибский бассейн* и *Тетис*, возможно, в это время возникает *Канадский бассейн Северного Ледовитого океана*. В позднемеловую эпоху продолжают свое расширение *Центральная Атлантика* и *Индийский океан* (рис. 2.9). На рубеже ранней и поздней эпохи происходит *верхоянский* орогенез, а на границе мела и палеогена — *ларамийский*.

Палеогеновый период. Главным событием палеоцена и эоцена явилось отделение *Гренландии* от Евразии и завершение формирования *Атлантического океана* (рис. 2.10) на всем протяжении от Шпицбергена до Антарктиды. Продолжалось и закончилось расширение Лабрадорского моря и моря Баффина, в эоцене — формирование Евразийской котловины *Северного Ледовитого океана* и расширение *Атлантического и Индийского* океанов. События конца эоцена и олигоцена явились переломным моментом в истории Земли: именно в олигоцене структурный план Земли, очертания материков приобрели вид, уже близкий к современному. С олигоцена начала формироваться и современная система горных поясов Земли. На рубеже эоце-

на и олигоцене произошел *пиренейский* орогенез, или *завершенная фаза альпийской складчатости*.

Неогеновый период. В течение миоцена продолжается расширение и углубление Атлантического и Индийского океанов и Евразийской котловины Северного Ледовитого океана (рис. 3.11). В середине миоцена прекращают свое существование морские проливы, соединявшие Средиземноморье с бассейнами Индийского океана через Сирию, Ирак и Восточный Тавр. Плиоцен–четвертичное время отличается высокой тектонической и магматической активностью, чем и объясняется большая роль событий того времени в становлении современного лика Земли.

Четвертичный период. Своеобразие данного периода заключается в том, что он характеризуется необычайно малой продолжительностью (вследствие его незавершенности), появлением человека и его культуры, и резкими и многократными изменениями климата с развитием покровных и горных оледенений, которые не раз имели место в геологической истории Земли.

2.2. Основные события в геологической истории Земли

В истории нашей планеты можно выделить целый ряд глобальных оледенений, связанных с похолоданием климата и формированием ледниковых покровов:

1. *Позднеархейское* (2,8 млрд лет);
2. *Раннепротерозойское* (2 млрд лет);
3. *Среднерифейское* (1,2 – 1,1 млрд лет), связанное с гренвильской эпохой орогенеза;
4. *Позднерифейское* (0,9 – 0,8 млрд лет);
5. *Позднерифейское* (0,8 – 0,75 млрд лет);
6. *Варангерское (Лапландское), или ранневендское – позднерифейское* (610 – 570 млн лет), которому предшествовал и сопутствовал байкальский орогенез;

7. *Позднеордовикское–раннесилурское* (карадок–венлок), совпадающее с таконской фазой каледонского орогенеза;

8. *Позднедевонское*, с запозданием совпадающее с акадской фазой каледонского орогенеза;

9. *Позднепалеозойское (Гондванское)* (ранний карбон – казанский век поздней перми);

10. *Апшеронское* (поздний плиоцен, неоген);

11. *Четвертичные*: окское, днепровское, московское, ранневалдайское (калининское), поздневалдайское (осташковское).

Итак, наша планета на протяжении последних почти 3 млрд лет неоднократно переживала периоды глобальных покровных оледенений, возможность появления которых определялась возникновением крупных континентальных массивов, спаянных той или иной фазой орогенеза. Огромные массивы суши обладали континентальным типом климата. Горообразование с последующим возникновением суперматерика(ов) приводило к смене климатических условий.

Климат Земли зависит от множества факторов, как космических, так и планетарных (Синицын, 1967, 1980). Гипотезы причин его изменения можно объединить в две группы: астрономо-физическую и геолого-географическую, обладающие общепланетарным воздействием.

1. Астрономо-физические гипотезы изменения климата связывают его вариации с колебаниями количества и состава солнечной радиации. Эти гипотезы подразделяются на две подгруппы. Первая подгруппа (*парадигма Миланковича*) исходит из принципа постоянства солнечной радиации и переменчивости положения поверхности Земли по отношению к потоку солнечных лучей. Вторая подгруппа предполагает изменение излучающей способности Солнца в качестве переменной звезды.

1.1. Парадигма М.Миланковича. Представления о неравномерном распределении солнечной радиации по поверхности Земли в связи с изменениями параметров земной орбиты впервые были высказаны английским астрономом Д.Кроллом в 1875 г. Д.Кролл предположил связь периодических изменений положения и объёма полярных ледовых шапок, обусловленных колебаниями климата, с вариациями эксцентриситета земной орбиты и наклона эклиптики планеты (Найдин, Копаевич, 1988). Широкую известность этой гипотезе придали труды М.Миланковича, впоследствии поддержанные В.Кеппенем и А.Вегенером (Синицын, 1967). Изменение распределения солнечной радиации по поверхности планеты связывалось с периодическими изменениями: наклона земной оси (циклы наклонения эклиптики), эксцентриситета земной орбиты и прецессии оси вращения Земли (время перигелия). Схема астрономических циклов М.Миланковича приведена на рис. 2.12.

Теория космической цикличности, вызывающей климатические флуктуации, была впервые обоснована в работе Милютина Миланковича (1939). Вариации оси вращения Земли и элементов земной орбиты влияют на сезонное и широтное распределение солнечной радиации по поверхности нашей планеты. Это распределение контролируется вариациями следующих астрономических параметров: прецессии, наклона эклиптики и эксцентриситета земной орбиты. Вариации эксцентриситета орбиты Земли влекут за собой изменение количества солнечной энергии. Возмущения других двух элементов приводят к широтному перераспределению солнечной радиации. Флуктуации инсоляции, определяющей тепловое состояние земной поверхности, изменяют: 1 – интенсивность конденсации и испарения атмосферной влаги; 2 – силу и направление ветров и морских течений; 3 – продолжи-

тельность зимы и лета; 4 – положение зоны апвеллингов. Таким образом, имеют место флуктуации теплого и холодного, а также сухого и влажного типа климата (Найдин, Копаевич, 1988).

Данные периодические изменения элементов земной орбиты М.Миланкович рассчитал для ряда широт на весь четвертичный период. В результате этих расчетов появилась кривая колебаний величин солнечной радиации, впоследствии сопоставленная Ф.Цейнером в 1963 г. с хронологией четвертичного периода. Пики на кривой Миланковича, отвечающие периодам с прохладным летом, сопоставлялись с ледниковыми эпохами, а пики, отвечающие периодам с теплым летом, с межледниковыми эпохами. Данная корреляция была настолько убедительна, что многие исследователи (А.Кеппен, А.Вегенер и др.) приняли кривую радиации Миланковича за основу геологического летоисчисления (Синицын, 1967).

Для расшифровки ритмичности толщ на данный момент известны следующие вариации орбитальных элементов (таб. 2.5).

Таблица 2.5

Эволюция продолжительности циклов прецессии и наклона эклиптики в фанерозое (Berger, 1989). Прим.: Ма – миллионы лет назад

	Ма	Циклы прецессии (лет)		Циклы эклиптики (лет)	
Современность	0	19000	23000	41600	54000
Поздний мел	72	18641	22474	39328	51100
Ранняя пермь	270	17545	20868	34227	42250
Поздний карбон	298	17272	20468	32954	40403
Средний девон	380	16562	19428	29649	34309
Ранний силур	440	16014	18625	27097	29884

Скорость вращения Земли и траектория орбиты не были постоянными в геологической летописи. А. Бергером в 1989 г. были математически высчитаны величины продолжительности астрономических циклов (таб. 2.5) с учетом уменьшения продолжительности дня, постоянно возрастающего расстояния между Землей и Луной, изменений инерции движения космических тел за последние 400 млн лет. Следует обратить внимание, что, во-первых, исследователь выделил короткие и долгие циклы наклона эклиптики, а, во-вторых, продолжительность циклов наклона эклиптики в раннем силуре приближается к продолжительности циклов современной прецессии. Следует заметить, что в таблице 3.5 приведены лишь некоторые примеры оценки продолжительности астрономических циклов из существующих многочисленных публикаций (Schwarzacher, 1993). Эволюция современных взглядов на продолжительность астрономических циклов показана в таб. 2.6.

Таблица 2.6

Эволюция взглядов на продолжительность астрономических циклов прецессии (P), наклона эклиптики и эксцентриситета (E)

Астрономические циклы	Schwarzacher, 1993	Gale, 1998
Циклы прецессии	P ₁₋₂ :19-23	P ₁₋₂ :19-23
Цикл наклона эклиптики	39-41	41
Циклы эксцентриситета	E ₁ : 100-104	E ₁ : 106
	E ₂ : 400-410	E ₂ : 410
		E ₃ : 1290
	Продолжительность, тыс. лет	

Ряд исследователей четвертичного периода (астрономы и климатологи) обратили внимание научной

общественности на некоторые недостатки парадигмы Миланковича. Прежде всего климатические последствия изменений должны были проявляться поочередно в северном и южном полушариях, но интервалы потепления и похолодания (в том числе и оледенения) носили общепланетарный характер. Отмечалось также несовпадение основных событий четвертичного периода, рассчитанных по кривой Миланковича, и данных, полученных методом ленточных глин и изотопным методом. Колебания солнечной радиации, вызванные изменениями параметров земной орбиты, должны были иметь место и в дочетвертичное время. Однако в палеогене отсутствуют признаки оледенений (Синицын, 1967). Позднее ряд американских астрономов установили, что изменения солнечной радиации невелики и, следовательно, не имеют большого климатического значения. Вариации температуры оценивались приблизительно в 2°C , что недостаточно для инициации оледенения. В расчетах Миланковича игнорировались динамические процессы атмосферы и удлинение продолжительности суток в результате замедления вращения земли под влиянием лунных и солнечных приливов (на $0,0014 - 0,0024$ с. в столетие). Например, в начале палеозоя сутки были на 2,5 ч короче современных (Синицын, 1967). В последнее время (Большаков, Большаков, 1999) высказываются предположения, что климатические флуктуации могут быть вызваны не столько циклами Миланковича (ЦМ), сколько эволюцией климатической системы Земли.

С другой стороны, результаты изучения мезо-кайнозойских разрезов скважин глубоководного бурения и ритмично построенных фанерозойских толщ обнаруживали связь с астрономическими циклами Миланковича. На данный момент гипотеза М. Миланковича доминирует среди прочих астрономо-физических моделей изменений климата и является парадигмой.

В последнее время (Волков, 2000) высказываются предположения о циклах «Миланковича» для Солнца, то есть циклов прецессии (95 млн лет), эклиптики (190 млн лет) и эксцентриситета (570 млн лет) орбитальных параметров Солнца.

1.2. Гипотеза Э.Эника основана на допущении, что при развитии звезды, подобной Солнцу, переход водорода в гелий в ее недрах должен создавать зоны неустойчивости и перемешивания, что приводит к временному ослаблению солнечного излучения. Последнее обстоятельство приводит к похолоданию. После восстановления равновесия внутри Солнца интенсивность солнечной энергии возрастает. Это приводит к потеплению климата Земли. Основным недостатком данной гипотезы является отсутствие каких-либо наблюдений и теоретических расчетов, доказывающих сам факт и периодичность «мерцания» Солнца (Синицын, 1967). Периодичность солнечной активности оценивается равной 70 лет (Vucsa, Vucsa, 1998) или 200 лет (Kegian Zhou Rp, Butler, 1998), что находит отражение в климатических флуктуациях, запечатленных в годовых кольцах современных и ископаемых деревьев.

1.3. Гипотеза Ф.Нольке. Суть данной гипотезы заключается в том, что Солнечная система периодически встречает на своем пути туманности. В периоды прохождения наиболее темных областей туманностей часть солнечной радиации поглощается, так и не достигнув Земли, в результате чего температура земной поверхности понижается и наступает оледенение. Если туманность состоит из сгущений и прозрачных промежутков, то эпохи оледенения разделяются эпохами межледниковья. Предложенная в 1909 г. Ф.Нольке гипотеза на данный момент несостоятельна, так как доказано, что эффект поглощения солнечной радиации

межзвездным газом на таком маленьком отрезке, как радиус Земной орбиты, незначителен (Синицын, 1967).

1.4. Гипотеза П.П.Предтеченского. П.П.Предтеченский в 1950 г. предположил, что солнечная активность через конденсационные процессы оказывает влияние на основные механизмы циркуляции атмосферы: западно-восточный перенос и меридиональный обмен. При усилении солнечной активности циркуляция в атмосфере возрастает. Экваториально-тропическая зона расширяется, но средняя температура в ней снижается вследствие возрастающей облачности. Полярные области расширяются за счет адвекции теплых воздушных масс более низких широт. Зоны умеренного климата сокращаются. Межзональный обмен воздушных масс ослабевает, и градиент температуры экватор—полюс уменьшается, особенно в зимнее время.

Климат во всех циркуляционных поясах становится менее континентальным и однообразным на больших пространствах. Крайние типы климатов, пустынный и арктический, исчезают. При ослаблении солнечной активности преобладающими становятся процессы стационарного типа. Зоны умеренных широт достигают максимального развития, а другие зоны сокращаются. Меридиональный обмен ослабевает, и абсолютно преобладающим становится западно-восточный перенос. Континентальность климата возрастает, а градиент температуры экватор—полюс достигает максимального значения. Контрастность климатических зон становится резкой.

Ледниковые эпохи П.П.Предтеченский относит к переходным состояниям, когда меридиональные вторжения и западно-восточный перенос оказываются более или менее равноценными и когда температура снижается, особенно летом, а осадков выпадает много. Такие условия благоприятствуют накоплению снега и

установлению ледниковой эпохи. Множественность ледниковых эпох объясняется совместным влиянием на циркуляционные процессы накладывающихся друг на друга циклов солнечной активности разной продолжительности и амплитуды.

Неясность связи солнечной активности с циркуляцией атмосферы делает эту гипотезу несостоятельной (Синицын, 1967).

1.5. Гипотеза В.М.Синицына. Данная гипотеза является развитием теории Г.Ф.Лунсгергаузена (1957) и Г.П.Тамзаряна (1959) и постулирует связь долгопериодических изменений климата с долгопериодическими изменениями геологических и биологических процессов на Земле. Существуют два типа развития Земли: геократический и талассократический.

Геократический тип характеризуется общим всплыванием сиалических масс земной коры, широким распространением суши, резко выраженным аридным климатом, общим ослаблением седиментационных процессов, усилением гранитообразования, кризисом флоры, почти полным прекращением угленакопления и бокситообразования.

Талласократический тип выражен в погружении значительных участков сиалической коры, трансгрессии моря, гумидным климатом с плотной облачностью, увеличением объемов терригенного осадконакопления, развитием спилито-кератофировых вулканических серий и внедрением офиолитовых интрузий, пышным развитием растительности, интенсивным накоплением растительного углерода и углей.

Существует и переходный тип, отвечающий смене двух предыдущих типов. Для данного третьего типа типичен контрастный климат, бурный вулканизм, динамичность физико-географической среды и пестрота ландшафтов, четкая биогеографическая зональность на

суше и в море, усиление и усложнение процессов седиментации, вспышками угленакопления, рифообразования, бокситообразования и галогенеза (Синицын, 1967).

Анализируя вышеизложенные гипотезы, можно заключить, что на данный момент ведущей гипотезой является парадигма М.Миланковича, постулирующая принцип постоянства солнечной радиации и переменности положения поверхности Земли по отношению к потоку солнечных лучей. Несмотря на ряд недостатков, именно эта парадигма наиболее обоснована фактическим материалом астрономо-физических и космо-геодезических наблюдений. Во второй подгруппе гипотез наиболее достоверной, на взгляд авторов, следует считать гипотезу Синицына.

Возвращаясь к причинам великих оледенений в истории Земли, остановимся на ряде гипотез возникновения *Варангерского оледенения*:

1. *Гипотеза об ослаблении парникового эффекта* вследствие интенсивного накопления в позднем рифее карбонатов с изъятием из атмосферы большого количества углекислого газа.

2. *Гипотеза о значительном увеличении наклона земной оси*, что маловероятно из-за большей скорости вращения Земли в докембрии по сравнению с современностью. Следовательно, наклон оси должен был быть значительно меньше современного.

3. *Гипотеза о пересечении орбиты Земли и скоплений межзвездной пыли.*

Помимо астро-физических гипотез изменения климата, рассмотрим геолого-географические гипотезы.

2. Геолого-географические гипотезы могут быть разделены на две подгруппы: гипотезы, объясняющие вариации климата с изменением состава и свойств атмосферы, и гипотезы, объясняющие климатические флуктуации изменениями поверхности Земли (Синицын, 1967).

2.1. Гипотеза о роли состава атмосферы. Лучистая энергия Солнца трансформируется атмосферой в тепловую энергию. Современная атмосфера пропускает 48% солнечных лучей, идущих к планете, и задерживает 93% ее длинноволнового излучения. Тепловые свойства атмосферы определяются ее составом. Состав атмосферы эволюционировал в геологической истории Земли, а следовательно, изменялись и ее свойства. Из многокомпонентного состава современной атмосферы наибольшее влияние на климат оказывают: водяной пар, углекислый газ и озон.

Водяной пар обладает свойствами проницаемости для коротковолновой солнечной радиации и экранирования длинноволнового земного излучения. Повышение концентрации водяного пара влечет за собой усиление «тепличного эффекта» и потепление климата. Помимо потепления климата водяной пар, сконденсированный в облаках, повышает отражательную способность Земли, вызывая похолодание. Содержание водяного пара определяется факторами испарения и увлажнения, зависящими от количества солнечной радиации, достигающей поверхности Земли.

С появлением первых фотосинтезирующих организмов 2,2 млрд лет назад (Бондаренко, Михайлова, 1997) атмосфера Земли стала насыщаться кислородом, а содержание углекислого газа стало уменьшаться. Современные растения ежегодно поглощают около 1/35 всего количества CO_2 , содержащегося в атмосфере. В карбонатных осадках палеозоя сконцентрировано количество CO_2 в 15000 раз больше, чем содержащееся в современной атмосфере. Баланс кислорода и углекислого газа в основном определяется растительным покровом Земли, который, в свою очередь, зависит от климата (Синицын, 1967). Углекислый газ атмосферы также расходуется при процессах выветривания, тор-

фонакопления и образования карбонатных осадков. Возврат углекислого газа происходит при процессах минерализации животных и растительных остатков, дыхания, разложения горючих полезных ископаемых и выноса из недр земли вулканами и гидротермами. Наличие в стратисфере Земли огромных масс связанного CO_2 , заключенного в горючих полезных ископаемых, указывает на то, что в геологическом прошлом расход CO_2 преобладал над поступлением (Синицын, 1967).

Основная масса CO_2 растворена в водах океана, где его количество в 50 раз больше, чем в атмосфере. Концентрация CO_2 в атмосфере определяется также его обменом в системе атмосфера–гидросфера. Около 200 млрд т газа ежегодно перетекает из воздуха в воду и обратно. Изменение этого баланса и баланса кислород – углекислый газ влияет на климат. Общее понижение концентрации CO_2 вызывает похолодание, а повышение – потепление климата.

Озон задерживает длинноволновое излучение Земли и усиливает «тепличный эффект» атмосферы. Озон продуцируется в ионосфере под воздействием ультрафиолетовой радиации. Усиление ультрафиолетовой радиации вызывает уплотнение озонового слоя и потепление климата.

Эволюция состава атмосферы, определяемая по геологической летописи; сложные процессы расхода (в том числе и биогенного) и поступления (в том числе и вулканогенного) CO_2 в атмосферу; продуцирование озона, обусловленное ультрафиолетовой радиацией; генезис водяного пара, связанный с климатически обусловленными процессами увлажнения и испарения, не позволяют придать атмосфере статус климатообразующего фактора (Синицын, 1967).

2.2. Гипотеза о роли вулканизма. Следует отметить, что значительное понижение солнечной радиации (на 10–20%) явилось следствием катастрофических извержений вулканов (Синицын, 1967): Кракатау в 1883 г. (выброшено 18 км³ рыхлых вулканических продуктов) и Катмай в 1912 г. (выброшено 21 км³ рыхлых вулканических продуктов). Современные наблюдения показывают, что за крупными извержениями вулканов следовали холодные годы: 1884–1885 гг. (после извержения 1883 г.) и 1913 г. (после извержения 1912 г.). Однако интенсивный вулканизм позднего девона, ранней перми, позднего триаса, поздней юры не ассоциируется с похолоданиями климата (Синицын, 1967). Катмайское извержение произошло через 29 лет после извержения вулкана Кракатау. Такая периодичность не отвечает известным астрономическим циклам. Она больше циклов обращения Земли вокруг Солнца (11 лет), но значительно меньше циклов колебания солнечной активности (400–600 лет). Данное противоречие современных наблюдений и геологической летописи не позволяет уверенно оценить роль вулканизма как фактора климата в планетарном масштабе. Достоверно можно судить лишь о локальном воздействии на климат.

В истории вулкана Кракатау еще рано ставить точку. Через 140 лет Индонезия может пережить стихийное бедствие, сопоставимое с извержением вулкана Кракатау в 1883 г., которое многие считают величайшей катастрофой в современной истории человечества. Ученые с беспокойством наблюдают, как на месте Кракатау вырастает новый вулкан, пишет гонконгская газета «Asian Wall Street Journal» (24.01.2005). Вулкан Анак Кракатау (Кракатау-ребенок) образовался около 70 лет назад и растет со скоростью шесть метров в год. Если темпы его роста не снизятся, через 140 лет мир

ждет повторение страшной трагедии, уверен индонезийский вулканолог Суприятман Сутавиджая из индонезийского Института вулканологии и геологии. В последние годы в лаве нового вулкана растет содержание кремнезема, это делает ее толще, что не позволяет газам вырываться на поверхность. Сейчас небольшие извержения Анака Кракатау происходят по несколько раз в день. Анак Кракатау находится в море в пятидесяти километрах от западного побережья Явы, самого густонаселенного острова 200-миллионной Индонезии. Если взрыв будет такой же силы, что и в 1883 г., волна цунами может смыть до одного миллиона человек в Индонезии и в других странах мира. Извержение вулкана Кракатау, произошедшее в 1883 г., считается одним из самых страшных стихийных бедствий в человеческой истории. В 1883 г. сорокаметровые волны цунами, вызванные взрывом, обошли четыре раза вокруг земного шара. Сам взрыв был слышен на расстоянии в пять тысяч километров и считается самым громким звуком, когда-либо произведенным на земле. Тогда от извержения и цунами погибли 36 тысяч человек, но ученые говорят, что число жертв было бы в десятки раз больше, если бы катастрофа произошла в наши дни (РИА «Новости» 24.01.05). Волна цунами после взрыва вулкана Кракатау была намного сильнее волны 26 декабря 2004 года.

Сильнейшее землетрясение, оценивающееся в 9 баллов по шкале Рихтера, произошло 26 декабря утром недалеко от индонезийского острова Суматра. В результате подземных колебаний образовалась волна цунами высотой до десяти метров, которая со скоростью около 800 километров в час обрушилась на побережье Шри-Ланки, Индонезии, Индии, Малайзии, Таиланда, Мальдивских островов и Мьянмы. Цунами дошла даже до Сомали. Количество погибших в резуль-

тате цунами в Индонезии составило 105,162 тыс. человек, без вести пропали 127,774 тыс. человек, как передает Associated Press (31.01.2005).

2.3. Гипотеза о роли рельефа Земли. Климат во многом зависит от рельефа Земли. С другой стороны, климат через выветривание формирует рельеф. Эта тесная взаимосвязь климата и рельефа стала основой целого ряда соображений о влиянии рельефа на климат.

Во-первых, отношение площади континентов и океанов отражается на общем типе климата и циркуляции атмосферы. При господстве океанов, воды которых медленнее нагреваются и медленнее остывают, климат Земли становится равномернее, циркуляционные процессы — слабее. Господство суши над морем приводит к установлению континентального климата с большим градиентом температуры экватор—полюс и отчетливыми межсезонными контрастами климата. Усиливается также атмосферная циркуляция.

Во-вторых, имеет значение географическое расположение основных материковых блоков. Если они сосредоточены в основном в высоких широтах, то климат будет значительно континентальнее, чем в случае их размещения в низких широтах.

В-третьих, климатическое значение имеет средний гипсометрический уровень суши. С его увеличением происходит уменьшение атмосферного давления, возрастание испарения и общее понижение температуры. При понижении среднего гипсометрического уровня климат материков становится более теплым и влажным.

В-четвертых, значительна роль высоких хребтов-климаторазделов, блокирующих атмосферную циркуляцию. Современным примером могут служить Гималаи, разделяющие муссонную область Индостана и сухую область Тибета. Близкими по смыслу являются соображения о связи оледенений с орогеническими пе-

риодами, когда резко возрастала площадь, занимаемая сушей, при возрастании высоты гор.

Однако история геологического развития и современность дает много примеров, опровергающих прямую связь между палеогеографическими (географическими) и палеоклиматическими (климатическими) изменениями. Оледенения сопровождали только герцинскую и альпийскую фазы горообразования. Для всех остальных орогенических фаз нет свидетельств оледенений. Резкое чередование гляциалов (оледенений) и интергляциалов (межледниковий) в четвертичном периоде происходило, по сути, при неизменном рельефе (Синицын, 1967).

2.4. Гипотеза о роли Мирового океана. Поверхность океана получает тепло за счет поглощения солнечной радиации и отдает его путем эффективного излучения (42 %) и испарения (51 %), следовательно, океанские воды изменяют свою температуру незначительно и медленно (Синицын, 1980). Мировой океан – основной источник влаги, хранитель тепловой энергии. Океан медленнее, чем суша (континенты), поглощает тепло и медленнее отдает.

2.5. Гипотеза о роли поднятий океанического дна. Формирование подводных гряд приводит к нарушению циркуляции водных масс. Это влечет за собой изоляцию и выхолаживание полярных бассейнов. Примером предложенной в 1958 г. Л.Б.Рухиным гипотезы может служить связь четвертичного оледенения с поднятием подводной гряды Томпсона (Атлантический океан). Поднявшаяся гряда блокировала доступ Гольфстрима в Северный Полярный бассейн, который стал выхолаживаться и покрываться льдом. Холодные массы сухого воздуха, формировавшиеся над этим бассейном, перемещались в сторону экватора и, соприкасаясь с теплыми воздушными атлантическими массами, спо-

способствовали образованию осадков (преимущественно снега). Эти факторы вызывали развитие оледенения в Европе и Северной Америке. При последующем опускании гряды Томпсона теплые воды Гольфстрима проникли на север, прогревая Северный Полярный бассейн. С прогреванием Северного бассейна происходила деградация снежных и ледовых покровов.

Недостатки данной гипотезы заключаются в следующем. Во-первых, при связи поднятий и опусканий гряды Томпсона с оледенением, выхолаживание климата скорее всего было бы локализовано и не проявилось в планетарном масштабе. Во-вторых, поднятия и опускания гряды Томпсона не могли ограничиваться только четвертичным периодом. Однако воздействие этого механизма на климат дочетвертичного времени не обнаруживается (Синицын, 1967).

2.6. Гипотеза о роли солености океанических вод. Сильное влияние на климат оказывает глубинная циркуляция, связанная с погружением тяжелых вод и их течением в меридиональном направлении в соответствии с градиентом плотности. Тяжелыми считаются холодные воды арктических бассейнов и воды с повышенной соленостью из экваториальных бассейнов. В ледниковые эпохи преобладают холодные арктические водные массы, перемещающиеся от полюса к экватору, а в межледниковье — теплые экваториальные,двигающиеся от экватора к полюсу. Т. Чемберлен (Синицын, 1967) предполагал, что вариации содержания CO_2 в атмосфере приводили к климатическим изменениям, вызывавшим периодическую переориентировку глубинной циркуляции водных масс. Однако переориентировка течений есть следствие, а не первопричина климатических изменений. Более того, М. Шварцбах высказал сомнение по поводу связи незначительных

колебаний концентрации CO₂ в атмосфере с переориентировкой течений (Синицын, 1967).

В работах Кларка (1924) предполагается нарастание в течение геологического времени солесодержания океанических вод (Синицын, 1967). Последние расчеты палеосолености (Hay, Wold, 1997) информируют о ее неизменном понижении (начало триаса — 52,65‰; начало мела — 41,66‰; плейстоцен — 34,72‰). Несмотря на тенденцию понижения значений солености, имеют место флуктуации в сторону увеличения значений (см. табл. 3.7).

Таблица 3.7
Изменение солености океанических вод (Hay, Wold, 1997)

Миллионы лет	60	70	80	90	100
Солёность, ‰	36,15	35,83	35,39	34,94	35,03

Таким образом, взаимосвязь климата и солености гидросферы, эволюция последней не позволяют придать вариациям солености океанических вод статус климатического фактора.

Следует отметить, что большинство геолого-географических теоретических построений в действительности являются не гипотезами, а слабо фактически обоснованными систематизированными представлениями о природе климатических флуктуаций. Более того, в некоторых случаях ряд факторов в большей степени зависит от климата, чем его определяет. С некоторыми допущениями возможно придание вулканическому фактору статуса климатообразующего, но не в общепланетарном масштабе. К общепланетарным факторам можно отнести ряд астрономо-физических гипотез, объединяемых в **астрономо-физический** фактор — климатообразующий фактор высшего порядка.

2.3. Основные этапы и события в развитии органического мира.

Кембрийский период. Наиболее распространенными и многочисленными животными в морях кембрия были трилобиты (около 60% биоты, например род *Paradoxides*) и археоциаты (30%, рис. 2.15). Трилобиты пережили расцвет в кембрийском периоде. Более половины известных видов из их общего числа приходится на кембрий. В отложениях этого периода найдены остатки почти всех известных типов беспозвоночных животных. Биота кембрия представлена фораминиферами, радиоляриями, кишечнополостными, червями, моллюсками, брахиоподами, низшими ракообразными, древними иглокожими. Органический мир кембрия богат примитивными скелетными организмами и резко отличается от докембрийского [Историческая геология с основами палеонтологии, 1985]. Одним из характерных ископаемых комплексов является фауна бургесских сланцев (рис. 2.16).

Ордовикский период. Органический мир ордовика характеризовался дальнейшим развитием беспозвоночных, среди которых все большее значение приобретали животные с карбонатным скелетом: строматопораты, табуляты, гелиолитоидеи, ругозы, иглокожие (морские лилии, морские пузыри). Широко распространились замковые брахиоподы, особенно ортиды, строфомениды, ринхонеллиды, пентамериды. С ордовика известны трилобиты, обладавшие известковым панцирем и способностью свертываться (рис. 2.17). Головной и хвостовой щиты у них были примерно одинаковых размеров и формы, число туловищных сегментов обычно небольшое. Ордовикские трилобиты многочисленны, но по разнообразию (по числу родов) уступают кембрийским. Из моллюсков наиболее распространены были хищные головоногие (рис. 2.18, 2.19) с

прямой или слабо изогнутой раковиной и простыми (прямыми или со слабым изгибом) перегородочными линиями, например эндоцератоидеи (*Endoceras*), охотившиеся на трилобитов. Важную роль в биоте ордовика играли быстро эволюционировавшие граптолиты (*Tetragraptus*, *Didymograptus* и др.). В это время появились примитивные позвоночные — бесчелюстные (телодонты). В морях флора была представлена сине-зелеными, зелеными и багряными водорослями [Историческая геология с основами палеонтологии, 1985].

Силурийский период. В силуре органический мир силура стал еще более разнообразным и богатым, чем в ордовике. Продолжали существовать основные ордовикские группы, но появились их новые представители. Широкое распространение получили строматопораты и кораллы (табуляты, гелиолитоидеи, ругозы). Число родов брахиопод несколько сократилось, но зато появились новые: спирифериды, продуктиды, ринхонеллиды, пентамериды. Трилобиты представлены свертывающимися формами, но количество их заметно уменьшилось. Вместе с ними стало меньше головоногих моллюсков, продолжавших, однако, оставаться грозой силурийских морей. Более разнообразными и многочисленными стали морские лилии. Граптолиты представлены в основном однорядными осеносными формами (рис. 2.20), к концу периода они почти полностью исчезли. Кроме перечисленных беспозвоночных продолжали существовать простейшие, губки, двустворчатые и брюхоногие моллюски, остракоды. Характерны хищные ракоскорпионы — эвриптериды (рис. 2.21), обитавшие в пресных и опресненных бассейнах. В конце силура вследствие общей регрессии моря появилось много бассейнов ненормальной солености. В таких бассейнах обитали лингулы, некоторые ринхонеллиды, двустворчатые моллюски, ракообразные.

В целом органический мир силура, как и ордовика, характеризуется древними группами: водорослями, граптолитами, трилобитами, строматопоратами, табулятами, брахиоподами (много древних семейств), головоногими моллюсками с прямой раковиной. В силуре найдены первые рыбы и высшие растения (псилофиты).

Все живое по-прежнему обитало преимущественно в морях, но в силуре жизнь начала завоевывать континенты, появились разнообразные обитатели пресных вод и первые высшие растения на суше. На суше появились членистоногие [Историческая геология с основами палеонтологии, 1985].

Девонский период. Развитие жизни происходит не только в водных бассейнах, но и на суше. Большую роль стали играть позвоночные, представленные рыбами и бесчелюстными организмами, отчего девон образно называют «веком рыб». Наряду с представителями животного мира, унаследованного от силура, появились новые группы организмов, которые позднее, в карбоне и перми, достигли своего расцвета. В девоне почти исчезли граптолиты, редкими стали трилобиты, цистоидеи и наутилоидеи. В девонских отложениях обнаружены остатки представителей всех типов беспозвоночных животных, но наиболее многочисленны раковины брахиопод, а также скелетные постройки строматопорат и кораллов, скопления фрагментов стеблей морских лилий. Впервые в истории Земли большую роль стали играть двустворчатые моллюски и некоторые низшие ракообразные, что связано с существованием в девоне многочисленных бассейнов ненормальной солености. Большое значение приобрели агониатиты и гониатиты. Для стратиграфии морских отложений наиболее важны аммоноидеи, брахиоподы, кораллы, конодонты и тентакулитиды. Широко распространены бесчелюстные и рыбы: двоякодышащие, хряще-

вые (акулы), панцирные и кистеперые (рис. 2.22 – 2.25). В пресноводных и солоноватоводных бассейнах рыбы, по-видимому, были уже многочисленны. Продолжалось освоение суши и животными, и растениями. Встречаются скорпионы, жившие еще в силуре, многоножки и бескрылые насекомые. Появляются первые земноводные – стегоцефалы (ихтиостеги, акантостеги, см. рис. 2.26). В первой половине девона на суше господствовали псилофиты, жившие еще в силуре. С середины периода уже известны плауны, хвощи и папоротники. Среди папоротников особенно распространен археоптерис, поэтому флора этого времени называется археоптерисовой. В первую половину девона псилофитовая травянистая растительность селилась по периферии водных бассейнов. С середины девона растения, а за ними и животные начинают осваивать удаленные от воды участки суши [Историческая геология с основами палеонтологии, 1985].

Каменноугольный (карбоновый) период. Органический мир каменноугольного периода развивается активно не только в море, но и на суше. Суша покрывается лесами, которые становятся местами обитания различных членистоногих. Сырые леса и болота заселяются разнообразными земноводными – стегоцефалами (рис. 2.27). По обилию болотной растительности и по древним земноводным карбон нередко называют земноводным периодом. К началу карбона почти исчезли граптолиты и трилобиты, вымерли псилофиты. Археоптерисовая флора девона сменилась комплексом древовидных растений, который получил название «антракофит» и господствовал до середины перми. Это были сосудистые споровые растения (плауны, хвощи, папоротники), а также первые голосеменные (папоротниковидные), к особой группе которых принадлежат кордаиты (рис. 2.28, 2.29). Мощная корневая система

каменноугольных растений, обилие листьев облегчали усвоение ими питательных веществ и способствовали пышному расцвету. Каменноугольная растительность, отмирая и захороняясь, образовывала крупнейшие в истории Земли скопления угля.

Для морей карбона характерно бурное развитие фораминифер, которые иногда играли роль породообразующих организмов (фузулиновые известняки), а также изобилие брахиопод, но число их видов (по сравнению с девоном) уменьшается. Особенно типичны продуктиды и спирифериды. Отмечается массовое появление колониальных форм четырехлучевых кораллов, которые вместе с мшанками, табулятами и водорослями создавали рифы. Многочисленными были конодонты и морские ежи. Нередко на морском дне возникали заросли морских лилий. Достигли расцвета гониатиты. Обильными были пелециподы и гастроподы. Пелециподы заселяли не только моря, но и пресноводные бассейны. Благоприятные климатические условия и пышная растительность определили обилие наземных членистоногих: пауков, скорпионов, тараканов, стрекоз (иногда с размахом крыльев до 1 м). В морях карбона обитали многочисленные рыбы. Разнообразные стегоцефалы населяли берега озер, заросли лесов. В конце карбона стегоцефалы дали начало первым пресмыкающимся (рептилиям). Прогрессивные черты рептилий (роговой покров, предохраняющий организм от потери влаги; размножение яйцами, откладываемыми на суше) позволили им проникнуть в глубь континентов. Для стратиграфии морских отложений карбона наиболее важны гониатиты, фораминиферы, брахиоподы и конодонты. Определение возраста континентальных отложений основано на изучении остатков растений, в меньшей степени — комплексов спор и пелеципод [Историческая геология с основами палеонтологии, 1985].

Пермский период. В морях перми господствовали фораминиферы (особенно фузулиниды и швагерины), замковые брахиоподы и гониатиты; последние, достигнув расцвета в ранней перми, к концу периода сменились цератитами. Многочисленными были пелециподы, гастроподы, остракоды и конодонты, а также рыбы, населявшие как морские, так и пресноводные и солоноватоводные бассейны. Стегоцефалы, процветавшие в ранней перми, в поздней перми угасали, уступая место разнообразным пресмыкающимся. Многочисленные остатки этих животных известны в верхнепермских отложениях Южной Африки, Северной Америки (штат Техас) и других районов. На территории нашей страны они впервые обнаружены в бассейне Северной Двины в 1895 г. В.П.Амалицким, а впоследствии найдены и в других местах, например на Волге (рис. 2.30). Здесь представлены как хищники, например иностранцевия, так и крупные (длиной до 3 м) неуклюжие травоядные животные – парейазавры (рис. 2.31 – 2.33).

К концу перми вымерли фузулиниды, четырехлучевые кораллы, табуляты, большинство брахиопод, гониатиты, ортоцератиты, древние представители иглокожих, последние трилобиты, многие древние рыбы и ряд позвоночных. Это был момент массового вымирания (рис. 2.34).

Наземная флора перми – это обедненная каменноугольная флора, отличающаяся от нее присутствием хвойных. Во второй половине перми состав флоры начинает меняться. Эти изменения были особенно резкими в зоне тропического климата, где с поздней перми наступил мезофит – эра господства голосеменных растений, представленных хвойными, цикадовыми (рис. 2.35) и гинкговыми (рис. 2.36). За пределами тропической зоны мезофит начался с триаса [Историческая геология с основами палеонтологии, 1985].

Триасовый период. Органический мир триаса существенно изменился по сравнению с палеозойским благодаря появлению новых групп фауны и флоры; в целом он типично мезозойский. Однако изменения органического мира на рубеже перми и триаса не носили катастрофического характера. В триасе еще встречаются представители таких характерных для палеозоя групп животных, как прямые наутилоидеи, брахиоподы из семейства спириферид, амфибии (лабиринтодонты), зверообразные рептилии. Из рептилий наибольшее распространение в раннем триасе получил дицинодонт рода *Lystrosaurus* (рис. 2.37, 2.38).

Вместе с тем в триасе развиваются и доминируют типично мезозойские группы фауны. Главное место среди беспозвоночных, населявших триасовые моря, занимали цератиты, испытавшие несколько эволюционных подъемов и спадов. На рубеже перми и триаса цератиты представлены всего двумя родами, в оленекском веке их число увеличивается до 113, в ладинском резко падает до 50, в карнийском вновь возрастает до 140. Цератиты в триасе достигают удивительного разнообразия как по числу родов (примерно 450), так и по форме и характеру скульптуры, но ни один род не перешел в юру. В норийском веке цератиты полностью вымирают, и им на смену приходят первые настоящие аммониты. В триасе продолжают свое развитие появившиеся еще в позднем карбоне белемниты, но они очень редки. Многочисленны двустворчатые моллюски; в среднем триасе появляются шестилучевые кораллы.

Мезозой — эра пресмыкающихся. В триасовых морях господствовали ихтиозавры, плезиозавры и нотозавры. С позднего триаса известны древнейшие крокодилы и черепахи. На суше в конце среднего триаса появились ящеротазовые динозавры. На первые попытки завоевания позвоночными воздушного пространства

указывают находки в верхнем триасе США и Англии остатков ящериц, приспособившихся к парящему полету. В триасе появляются первые костистые рыбы. С позднего триаса начинают свое развитие млекопитающие, находки которых известны на территории Англии, Швейцарии, Китая и Южной Африки.

Для триасовой растительности характерно интенсивное развитие различных групп голосеменных: хвойных, гинкговых и цикадовых, определивших мезофитный облик флоры. Изменение флоры на рубеже перми и триаса также происходило постепенно. В разных регионах мира смена палеофитных комплексов на мезофитные отмечается на разных стратиграфических уровнях и часто не совпадает с границей перми и триаса, проводимой по фауне. В триасе остаются многочисленными такие палеофитные растения, как папоротники и хвощи [Историческая геология с основами палеонтологии, 1985].

Юрский период. Органический мир юрского периода приобретает все черты, характерные для мезозоя. К началу юры вымирают последние палеозойские реликты (стегоцефалы, спирифериды и др.). Важнейшей группой, населявшей юрские моря, были аммониты, исключительно разнообразные и многочисленные. Юрские аммониты, благодаря быстрым эволюционным изменениям и частой встречаемости, являются главнейшей группой для расчленения юрской системы (по ним выделяется более 40 аммонитовых зон). Многочисленными, по сравнению с триасовыми, становятся белемниты. Большого разнообразия достигают двустворки, губки, морские лилии, появляются «неправильные» морские ежи. Среди брахиопод преобладают представители отрядов ринхонеллид и теребратулид. В теплых морях широкое развитие получают шестилучевые кораллы — строители множества рифовых массивов.

Позвоночные животные юрского периода приспособлены ко всем сферам обитания. Удивительного разнообразия достигают представители класса пресмыкающихся, особенно динозавры. Среди них были и сравнительно небольшие, и достигавшие гигантских размеров (длина бронтозавров и диплодоков — до 25–30 м (рис. 2.39), масса — до 40–50 т). Хищные двуногие были вооружены огромными зубами (цератозавр), травоядные четвероногие (стегозавр) имели тяжелые панцири, шипы и рога для защиты (рис. 2.40–2.41). В юрских морях господствовали ихтиозавры (рис. 2.42), или рыбащеры, и плезиозавры (рис. 2.43); были широко распространены рыбы. Летающие ящеры представлены рамфорингами (рис. 2.44) и птеродактилями.

В поздней юре появились первые птицы (*Archaeopteryx*, рис. 2.45), обладающие наряду с типичными признаками птиц (перья, грудной киль, полые кости и др.) чертами пресмыкающихся (зубы, хвост с позвонками и др.). Юрские млекопитающие, как и в триасе, по-прежнему немногочисленны и слабоорганизованны, их находки редки.

Растительный мир к юрскому периоду также окончательно утрачивает палеозойские черты (исчезают кордаиты, семенные папоротники, каламиты, еще существовавшие в триасе). В юре господствуют голосеменные: хвойные, гинкговые, цикадовые.

Меловой период. Этим периодом завершается мезозойская эра, поэтому его органический мир несет на себе все черты переходного этапа. В раннем мелу состав основных групп растений типично мезозойский, а в позднемеловую эпоху происходит резкая смена и растения приобретают кайнозойский облик. В бассейнах мелового периода важнейшими группами являются аммониты (рис. 2.46–2.47), белемниты, морские ежи, двустворчатые моллюски, губки, мшанки, гастроподы, фора-

миниферы, шестилучевые кораллы. Аммониты достигают исключительного разнообразия в строении раковины (от спирально свернутой до прямой). Испытывают расцвет «неправильные» морские ежи. Представители двустворок — иноцерамы — служат важнейшей группой для стратиграфии верхнего мела. Наряду с рифостроителями — кораллами и мшанками — породообразующее значение имеют мелкие фораминиферы.

Среди меловых позвоночных продолжают господствовать рептилии: наземные формы представлены как травоядными (род *Trachodon*, рис. 2.48; *Hadrosaurus*, рис. 2.49; игуанодонт, рис. 2.51), так и хищными (род *Tyrannosaurus*, рис. 2.48; *Dryptosaurus*, рис. 2.49; *Tarbosaurus*, рис. 2.50, 2.52), достигавшими громадных размеров — свыше 5 м в высоту. Большое распространение получают рогатые ящеры (род *Triceratops*, рис. 2.53; *Protoceratops*, рис. 2.54). В морях преобладают ихтиозавры, плиозавры (род *Kronosaurus*, рис. 2.55) и плезиозавры (рис. 2.56). В позднем мелу появляется своеобразная группа хищных морских ящеров — мозозавров (рис. 2.56), достигавших в длину 20 м; размер зубов у них составлял 15–20 см. В воздухе царили птерозавры (*Pteranodon*) с размахом крыльев до 15–21 м (рис. 2.56). В морях дальнейшее развитие получают рыбы. В меловом периоде впервые появляются змеи. Среди млекопитающих возникают высокоорганизованные плацентарные формы. Совершенствуются птицы, напоминавшие обликом современных птиц, но имевшие зубы.

В раннемеловую эпоху растительный мир имеет мезофитовый облик (рис. 2.57), в позднем мелу господствуют уже покрытосеменные. Граница мела и палеогена — очень резкий рубеж в развитии органического мира планеты, характеризующийся вымиранием аммонитов, белемнитов, ихтиозавров, плезиозавров, рудистов, птерозавров, динозавров; резко сокращается число

фораминифер, морских ежей, костистых рыб, вымирает две трети кораллов. Исчезает более 75% видов растений и животных. Для объяснения причин вымирания организмов в конце мелового периода выдвигается целый ряд гипотез, в том числе основанных на космических, климатических, тектонических и палеогеографических факторах.

Палеогеновый период. Значительная часть организмов палеогена была специализированной и приуроченной к определенным зоогеографическим провинциям и батиметрическим зонам. Однако существовало большое число космополитных форм, преимущественно микроорганизмов, приспособленных к жизни в разнообразных условиях. Из простейших были широко развиты фораминиферы (рис. 2.58), представленные мелкими планктонными и относительно более крупными бентосными формами; из последних наиболее характерны нуммулиты. Эти фораминиферы были столь многочисленными, что скопления их раковин образовывали толщи мощностью десятки метров. Поэтому первоначально даже предлагалось называть палеоген нуммулитовой системой. Из нуммулитовых известняков построены египетские пирамиды.

Большую роль играли разнообразные радиолярии. Из многоклеточных были широко распространены губки; их разрозненные спикулы местами образовывали массовые скопления, давшие своеобразную породу — спонголит. Многочисленные кораллы, принадлежащие к группе склерактиний (подкласс гексакораллы), были представлены разнообразными мелководными и редкими глубоководными формами. Рифовые массивы, развитые в настоящее время в тропических морях, начали возникать в конце эоцена.

По частоте встречаемости следующее место после простейших занимали двустворчатые и брюхоногие

моллюски. Они обитали в разнообразных типах водных бассейнов (морских, солоноватоводных, пресноводных). Брюхоногие моллюски, кроме того, освоили наземные условия. Немногочисленные брахиоподы представлены реликтовыми группами: лингулидами, ринхонеллидами и теребратулидами. Достаточно широко были распространены мшанки и морские ежи. Низшие раки — остракоды заселяли морские, солоноватоводные и пресноводные водоемы. Остатки насекомых в палеогене редки, однако только в одном местонахождении янтаря в Прибалтике их обнаружено около 3000 видов.

В водных бассейнах обитали многочисленные рыбы, преимущественно костистые (лососевые, окуневые, тресковые и др.) и хрящевые (акулы, скаты).

Среди позвоночных млекопитающие и беззубые птицы заняли господствующее положение. Крупные птицы, например диатрима (рис. 2.59), были хищниками. Земноводные и пресмыкающиеся были немногочисленны: в палеогене известны только гигантские саламандры, лягушки и жабы, а также черепахи, ящерицы, змеи и крокодилы. Быстро развивались беззубые птицы, как летающие, так и нелетающие. Возникшие еще в мезозое примитивные млекопитающие в палеогене начали быстро эволюционировать, значительно умножились по разнообразию и количеству, приспособились к жизни на земле, в воздухе и воде. Эволюция млекопитающих шла по пути их приспособления в основном к определенному образу передвижения и питания, что привело к специализации конечностей и зубов (рис. 2.60); увеличивались и размеры животных. Одним из наиболее крупных палеогеновых млекопитающих был индрикотерий (рис. 2.61, 2.62), достигавший в высоту 5 м; кости индрикотерия найдены в Казахстане, Монголии, Китае и Закавказье. Крупные хоботные — мастодонт и динотерий — имели бивни в ниж-

них челюстях; примитивные носорогообразные — диноцерасы — обладали тремя парами рогов и клыками. Наиболее многочисленными были представители архаичных непарнокопытных; затем по численности шли парнокопытные, примитивные грызуны, хищники, насекомоядные и зайцеобразные.

В растительном мире господствовали покрытосеменные (цветковые), представленные большей частью и ныне живущими родами деревьев, кустарников и трав. Из голосеменных растений были многочисленными только хвойные. Низшие растения играли значительную роль в растительных сообществах суши и воды. В водах океанов были широко распространены одноклеточные водоросли, обладавшие скелетом (см. рис. 2.63): кремнистым — у диатомовых водорослей и силикофлагеллат, карбонатным — у нанофоссилий (кокколитофорид и дискоастер) [Историческая геология с основами палеонтологии, 1985].

Неогеновый период. На протяжении неогена общий состав фауны и флоры постепенно приближается к современному; большинство представителей органического мира неогена существуют и в настоящее время, хотя географическое их распространение значительно изменилось. Особенно заметно это на примере органического мира суши.

В морях нормальной солености развиваются те же группы, что и в палеогене. Продолжают господствовать двустворчатые и брюхоногие моллюски *Ostrea*, *Turritella*, *Chlamys* и др.; многочисленны мелкие фораминиферы, кораллы и мшанки, различные иглокожие, губки, а также разнообразные рыбы, из млекопитающих — киты. Для фауны широко распространенных в неогене солонатоводных бассейнов наиболее характерны пелециподы *Mastra*, *Cardium* и др., гастроподы *Cerithium*, *Trochus* и др., а также мшанки-рифостроители.

Среди наземных млекопитающих уже в начале миоцена вымирают примитивные формы: древние хищники, титанотерии (крупные непарнокопытные), ряд групп парнокопытных и др. В неогене встречаются гигантские млекопитающие — халикотерии (рис. 2.63), похожие одновременно на нескольких животных (носорога, лошадь и тапира). Господствующее место занимают ныне продолжающие существовать семейства и роды хищных, хоботных, копытных. В раннем миоцене появляются древние медведи, антилопы, быки, жирафы, слоны, овцы, козы; в конце миоцена и в раннем плиоцене — человекообразные обезьяны, гиппопотамы, олени, первые настоящие лошади. Наконец, в начале позднего плиоцена широко распространяются слоны, мастодонты, саблезубые тигры. Важнейшая особенность позднего плиоцена — появление представителей рода *Ното* — человека.

Наиболее разнообразной была неогеновая наземная фауна в Евразии. В Северной Америке отсутствуют хоботные, обезьяны, олени; хищники представлены только несколькими видами, но здесь разнообразны и многочисленны копытные (исключая оленей).

В позднем миоцене, после образования сухопутного моста между Евразией и Северной Америкой, произошла миграция фауны с одного континента на другой. В Южной Америке из млекопитающих существовали неполнозубые, копытные, а также живущие ныне плосконосые обезьяны, сумчатые и грызуны. Отсутствовали хоботные и хищные. В конце миоцена — начале плиоцена тоже произошла миграция фауны из Северной Америки в Южную. Австралия в течение неогена оставалась изолированной. Здесь развивались исключительно низшие млекопитающие — сумчатые и однопроходные. В миоцене на территории современных экваториального и умеренного поясов продолжали суще-

ствовать тропические и субтропические древесные растения. Но уже к концу этой эпохи в пределах умеренного пояса они сменяются листопадной, главным образом широколиственной флорой. В начале плиоцена здесь возникают степные и лесостепные пространства, обширные зоны занимают хвойные леса. В позднем плиоцене появляются темнохвойная тайга и тундра.

Широкое распространение континентальных, а также лагунных отложений, содержащих эндемичную фауну, значительно затрудняет расчленение и корреляцию неогеновых отложений. В настоящее время на базе собранных при бурении дна океанов и морей материалов по распространению планктонных фораминифер и нанопланктона создана зональная шкала морского неогена тропического и субтропического поясов. С этой глобальной шкалой коррелируются региональные шкалы морских отложений высокоширотных поясов, базирующиеся на изучении кремнистых организмов и моллюсков; различные региональные схемы морских отложений, выработанные с привлечением данных по бентосным фораминиферам, остракодам и моллюскам; схемы континентальных отложений, созданные на основе изучения остатков позвоночных и моллюсков, а также палинологических, палеомагнитных и радиометрических данных [Историческая геология с основами палеонтологии, 1985].

Четвертичный период. Наземная растительность современного типа начинает формироваться уже в эоплейстоцене. Постепенно вымирают или резко сокращают свои ареалы теплолюбивые формы. Они замещаются формами, характерными для умеренного и холодного климата; сокращаются леса, расширяются площади, занятые травянистой растительностью, возникают тундровые и арктические ассоциации. Происходит неоднократное, связанное с чередованием похо-

лоданий (оледенений) и потеплений (межледниковий) смещение пустынных, степных, таежных, тундровых растительных зон к югу или северу, достигавшее (например, в пределах Европейской части России и Сибири) 400–600 км по отношению к современному положению каждой из этих зон. В морях широко распространяются моллюски, фораминиферы, остракоды и диатомовые водоросли (комплексы этих водорослей присутствуют также в озерных и речных осадках), имеющие важное стратиграфическое значение.

Животный мир тоже испытывает крупные эволюционные изменения. Особенно ярко это проявляется среди млекопитающих. С первой половиной эоплейстоцена синхронизируются наиболее древние — молдавский и хазарский — комплексы млекопитающих: ряд видов слона, эласмотерий, олень, верблюд, саблезубый тигр, носорог, медведь и др. Вся эта фауна жила в условиях преимущественно степного и лесостепного ландшафта. Таманский комплекс характеризует более молодые слои эоплейстоцена и отличается от предыдущего сокращением ареала и численности теплолюбивых животных, а также широким распространением лошади и ряда видов оленей.

В нижнеплейстоценовом (и частично эоплейстоценовом) — тираспольском — комплексе появляются холодовыносливые формы: овцебык, северный олень, лемминг. В южных зонах обитают многочисленные слоны, лошади, ослы, носороги, бизоны. Сингильский комплекс соответствует времени лихвинского (миндельрисского) потепления. Для него типичны древний лесной слон, носорог, сайга, лошадь. Хазарский комплекс характеризует время наиболее сильного похолодания — днепровского (рисского) оледенения и начало следующего за ним рославльского (одинцовского) потепления. Наиболее типичными его представителя-

ми являются степные формы: трогонтериевый слон, лошадь, бизон, сайга, носорог, верблюд.

Для верхнепалеолитического комплекса, кроме мамонта (рис. 2.64), наиболее характерны шерстистый носорог, северный олень (рис. 2.65), медведь (рис. 2.66) лось (рис. 2.67), овцебык, песец, лемминг, тушканчик и др. Современный комплекс, соответствующий голоцену, сформировался из верхнепалеолитического. При отсутствии мамонта, шерстистого носорога и ряда других форм резко расширился ареал других животных, существующих и ныне. К этому времени относится приручение животных человеком.

Все указанные особенности развития фауны характерны не только для умеренных, но и для тропико-экваториальных зон, однако там они выражены значительно слабее благодаря более стабильным климатическим условиям. В Австралии и Южной Америке, сохранявших на протяжении почти всего антропогена изолированное и полуизолированное положение, обитает ряд реликтовых (неогеновых) форм.

Появление человека — наиболее важная особенность четвертичного периода (рис. 2.68, 2.69). Предшественниками древних людей являются формы, переходные от обезьяны к человеку, — австралопитеки. Их остатки найдены в слоях, возраст которых от 5,5 до 0,9 млн лет. Объем мозга австралопитеков 530—550 см³. Они систематически использовали в качестве орудий камни, палки и другие естественные предметы. Несколько позже — 3,4(?)—2,8 млн лет назад — появляются довольно близкие к австралопитекам формы, выделенные в род *Homo habilis* (человек умелый). Они отличаются от австралопитеков заметно большим объемом черепной коробки (700—800 см³), а также умением делать примитивные каменные орудия, получившие наименование *культуры галек* (олдувай).

Более поздние предки современного человека: питекантроп, гейдельбергский человек и синантроп — объединяются под наименованием архантропов. Находки питекантропов были сделаны в слоях, возраст которых около 600 тыс. лет. Они уже умели изготавливать грубые каменные орудия. На более высокой ступени развития находится гейдельбергский человек. Возраст вмещающих его слоев 300—350 тыс. лет. Еще более высокоразвитой формой является синантроп, объем мозга которого 1050 см³. Остатки синантропа найдены в слое золы вместе с каменными орудиями и костями животных. Возраст этих слоев оценивается в 200—250 тыс. лет. Обработанные синантропом орудия относятся к так называемой *ашельской культуре*.

На грани среднего и позднего плейстоцена наряду с последними представителями архантропов появляются палеоантропы — неандертальцы. Находки остатков неандертальцев, их стоянок и орудий достаточно высокой степени обработки, выделяемых как *мустьерская культура*, сделаны в слоях с возрастом от 200—170 до 35—30 тыс. лет. Неандертальцы умели добывать огонь, жили охотой и собирательством.

Неоантропы, появившиеся 45—40 тыс. лет назад, по своему физическому типу не отличались от современных представителей человеческих рас. Они с высоким совершенством изготавливали каменные топоры и молотки, в которых просверливали отверстия для насаживания рукояток, вырезали статуэтки из кости и камня. Неоантропы оставили рисунки на стенах пещер. С начала голоцена — 10 тыс. лет назад — господствуют люди современного типа, в культуре которых последовательно сменяются эпохи: мезолит (появление лука и стрел), неолит (шлифованные орудия, гончарное производство, начало скотоводства и земледелия), бронзы и железа [Историческая геология с основами палеонтологии, 1985].

В заключение сформулируем основные эволюционные тенденции развития органического мира. Завоевание жизненного пространства всегда начиналось с колыбели жизни – водной стихии (морей и океанов). Далее, по мере развития, в связи с полным освоением жизненного пространства среды (дефицитом места, пищи) организмы начинают осваивать сушу, а потом (после полного освоения пространства суши) – вторгаются в третью стихию (воздух). Растения в погоне за освоением пространства опережали беспозвоночных животных, которые, в свою очередь, – обгоняли позвоночных животных. Животные освоили все три стихии, растения – только две (воду и сушу). Выход беспозвоночных на сушу был обусловлен наличием корма (наземные растения), потребляемого растительноядными формами этих существ. Растительноядные формы беспозвоночных служили пищей для беспозвоночных – хищников. Таким образом возникали пищевые связи в биоте первых «колонизаторов» суши. Впоследствии эта пищевая цепочка удлинилась за счет хищных (насекомоядных) форм позвоночных и разветвилась за счет появления растительноядных форм позвоночных животных, которые поедались хищными позвоночными формами.

1. *Кембрийский период*. Появление беспозвоночных животных с наружным скелетом.

2. Завоевание гидросферы растениями и беспозвоночными с кембрия по силур, и освоение позвоночными животными (рыбами и рыбообразными) с ордовика по силур.

3. *Ордовикский период*. Появление всех известных типов беспозвоночных животных.

4. *Силурийский период*. Освоение прибрежных участков суши растениями (риниофиты)* и беспозвоночными (членистоногими – скорпионы, многоножки).

5. *Девонский период*. Освоение открытых пространств суши растениями (плауны, хвощи, папоротниковидные и семенные папоротниковидные), затем членистоногими (пауки, бескрылые насекомые), а затем — выход позвоночных на сушу (появление амфибий).

6. *Каменноугольный период*. Освоение прибрежных пространств суши позвоночными (амфибии), затем освоение открытой суши позвоночными (рептилиями). Завоевание беспозвоночными животными (насекомые — стрекозы) воздушной стихии посредством активного полета. К каменноугольному периоду беспозвоночные животные освоили три стихии: воду, сушу и воздух.

7. *Пермский период*. Появление вторично-водных форм позвоночных животных в составе класса рептилий (мезозавры) как следствие назревающего кризиса (дефицита) места и пищи для жителей суши.

8. *Триасовый период*. Освоение рептилиями водной (нотозавры, ихтиозавры, плезиозавры) и воздушной среды посредством активного полета — птерозавры. Возможное появление птиц (?) и достоверное появление млекопитающих. К триасовому периоду позвоночные животные освоили три стихии: воду, сушу и воздух.

9. *Юрский период*. Достоверное освоение птицами воздушного пространства.

* Примечание: Достоверные остатки грибов известны с девона, а лишайников — с позднего мела. Однако уровень их организации и некоторые проблематичные находки в докембрийских отложениях позволяют предполагать, что в докембрии и раннем палеозое на суше уже существовала экосистема, включавшая бактерии, грибы, лишайники, моховидные и некоторые водоросли.

В итоге в развитии органического мира в конце докембрия и в фанерозое можно выделить следующие пять этапов:

Венд (V). Вендский этап характеризуется появлением бесскелетной фауны беспозвоночных (рис. 2.70), в основном представленной кишечнополостными, червями и членистоногими, губками и организмами неясного систематического положения (рис. 2.71–2.73). Перечисленные формы жизни заселили дно вендских морей (поверхность дна и толщу донного осадка), а также вышележащую толщу воды, таким образом, в это время сформировались основные типы образа жизни организмов в водной среде: планктонный, нектонный и бентосный (прикрепленный, свободнолежащий, ползающий и зарывающийся).

Ранний палеозой (PZ₁). Кембрий – силур.

Раннепалеозойский этап развития органического мира (рис. 2.74–2.76) характеризовался развитием жизни в водной среде. Типичными представителями биоты этого этапа были членистоногие (трилобиты и ракоскорпионы), археоциаты (кембрий), губки, кишечнополостные, черви, иглокожие, моллюски (головонogie, брюхоногие и двустворчатые), брахиоподы, мшанки, граптолиты и бесчелюстные. У животных активно эволюционировал внешний скелет, появившийся в начале кембрия. Хищники морей раннего палеозоя – это беспозвоночные животные, питающиеся беспозвоночными и примитивными позвоночными существами.

Поздний палеозой (PZ₂). Девон – пермь.

На позднепалеозойском этапе развития органического мира жизнь протекала в воде (рис. 2.77), а также на суше и в воздухе. Идет активная эволюция растений (риниофиты, плауны, хвощи, папоротники, кордаиты, хвойные; рис. 2.78–2.81).

Беспозвоночные хищники заметно сдали свои позиции в море. Теперь здесь и в пресноводных бассей-

нах суши доминируют активно эволюционирующие рыбы (рис. 2.82–2.83). Кистеперые рыбы и амфибии охотятся не только в водоемах, но и на их берегах.

В девоне угасают трилобиты, некоторые группы иглокожих и брахиопод, граптолиты и бесчелюстные. В карбоне беспозвоночные осваивают воздушную стихию (рис. 2.80), появляются гигантские летающие хищники – стрекозы. В это же время на арене жизни появляются рептилии. Типичные представители морской фауны беспозвоночных этого времени – это разнообразные кораллы, моллюски, членистоногие, брахиоподы (испытавшие расцвет в это время), мшанки и иглокожие.

Мезозой (MZ). Триас – мел.

В это время в воде, на суше и в воздухе господствуют рептилии (рис. 2.84). Появляются птицы и млекопитающие, покрытосеменные растения. Продолжается бурная эволюция позвоночных животных. В морях мезозоя среди беспозвоночных доминируют головоногие (аммониты, белемниты) и двустворчатые (рудисты, иноцерамы) моллюски. Значительную роль в биоценозах того времени играли другие классы моллюсков, кораллы (особенно шестилучевые), мшанки, членистоногие и иглокожие.

Кайнозой (KZ). Палеоген – антропоген.

На этом этапе быстро развиваются и доминируют млекопитающие, а также появляется человек. Идет активная эволюция покрытосеменных растений. В начале этапа грозными хищниками суши были бегающие нелетающие гигантские птицы, затем это место заняли млекопитающие, которые за этот этап освоили все три среды. Большая часть животных и растений имеет современный облик. Активно эволюционируют брюхоногие моллюски, насекомые и некоторые другие группы беспозвоночных животных.

Глава 3. Особенности живого

Изучением живого занимается биология (греч. *bios* — жизнь; *logos* — слово, учение) — область естествознания, которая на современном этапе развития представляет собой комплекс взаимосвязанных наук о живой природе. Предметом биологии в ее современном понимании являются все проявления жизни: строение и функции живых существ и их природных сообществ; распространение, происхождение и развитие тех и других; связи друг с другом и с неживой природой. Задачами биологии являются установление закономерностей проявления и раскрытие сущности жизни. Основная задача биологии как науки состоит в том, чтобы истолковывать все явления живой природы исходя из научных законов, не забывая при этом, что целому организму присущи свойства, отличающиеся от свойств составляющих его частей.

Например, нейрофизиолог может подробнейшим образом описать работу отдельного нейрона языком физики и химии, но сам феномен сознания он так описать на сегодняшний день не может. Сознание возникает в результате коллективной работы и одновременного изменения электрохимического состояния миллионов нервных клеток, однако до сих пор нет реального представления о том, как возникает мысль и каковы ее физико-химические основы.

Помимо того, что мы не можем дать строгого определения жизни, мы также, к сожалению, пока не в состоянии удовлетворительно ответить на вопрос о времени и механизме ее возникновения. Современная биология может только (но это уже существенное достижение) перечислить и описать признаки живой материи, то есть критерии живого, которые отличают ее от неживой. Чтобы продемонстрировать всю трудность

этого, мы приведем таблицу 3.1, заимствованную из книги Л.Маргелис, показывающую одну из сторон неразрывности и глубокой взаимосвязи живого и неживого из-за сходства минеральных компонентов.

Таблица 3.1

Биоминерал	Mone ra	Proto ctista	Fun gi	Ani malia	Plan tae
<u>Карбонаты кальция</u>					
Кальцит	+	+		+	+
Арагонит	+	+		+	+
Фатерит		+		+	+
Моногидрокальцит	+			+	+
<u>Фосфаты</u>					
Даллит	+	+	+	+	?
Франколит				+	
Брушит				+	
<u>Галоиды</u>					
Флюорит				+	
<u>Оксалаты</u>					
Уэвеллит		+	+	?	
Уэдделит			+	+	+
<u>Сульфаты</u>					
Гипс				+	+
Целестин		+			
Барит		+			
<u>Силикаты</u>					
Опал		+		+	+
<u>Окислы железа</u>					
Магнетит	+			+	+
Маггемит	?			+	+
Гетит				+	
Лепидокрокит				+	
Ферригидрит	+		+	+	+
Аморфные ферригидраты		+			
<u>Окислы марганца</u>					
Бурнесит	+				
<u>Сульфиды железа</u>					
Пирит, гидротроилит	+				

Сущность и критерии живого

Удивительная сложность строения и видимая целесообразность поведения живых организмов приводили многих исследователей к мысли о том, что жизнь — это нечто большее, чем просто физическое или химическое явление. Согласно ранним представлениям, живое начало в материальную систему привносит «душа» — абстрактная субстанция, отличная от тела, которая и обеспечивает целенаправленное, осмысленное поведение материи.

Во многих обществах с племенной структурой люди до сих пор объясняют физиологические функции действиями посторонних существ, живущих в человеческом или каком-либо другом организме (согласно их представлениям, в ушах находятся некие существа «гомункулы», способные улавливать звуки, и т.п.). Функция прекращается при потере этого существа.

Если действительно принять такую точку зрения, то проблема сущности жизни не решается, а просто переносится с одной живой системы на другую. И тем не менее, не так давно принято было считать, что такие качества организма, как память, мышление и целенаправленные действия, являются следствием действия особой «жизненной силы». Такая система взглядов носит название виталистической. Она утратила ведущую роль в биологии лишь последние сто—двести лет.

Согласно учению виталистов, некоторые стороны явлений жизни нельзя понять на основе законов физики и химии. С другой стороны, безоговорочно принять положение, что жизнь основана исключительно на физических и химических процессах, также достаточно сложно. В настоящее время экспериментально установлены соответствия многих процессов, протекающих в живых и неживых системах одинаково и каче-

ственно, и количественно. В качестве примера можно назвать комплекс процессов обмена веществ.

Со времен Лавуазье, который впервые попытался изучить природу дыхания, известно, что введенный в организм сахар взаимодействует там с кислородом и образует в результате углекислый газ и воду. При этом выделяется определенное количество энергии. Сегодня точно вычислены все численные параметры этой химической реакции. С помощью калориметра можно установить количественные показатели этой же реакции, происходящей в живых организмах, и произвести сравнение. Подобные эксперименты показали, что законы сохранения вещества и энергии в живых системах выполняются в пределах точности опыта (0,1%). Таким образом, если «жизненная сила» и имеет место, то она не способна нарушать физические и химические законы.

Однако нельзя сказать, что живые системы подчиняются *только* законам физики и химии. Следует признать, что живые системы – это физические системы, обладающие, кроме того, свойствами осмысленности и целенаправленности. Если же подойти к проблеме определения жизни более широко, например с позиций теории информации, то можно определить живые системы как открытые системы, способные к хранению и передаче информации и, следовательно, к самоорганизации, самовоспроизведению и саморегуляции. Сложности определения жизни возникают при попытке установить какие-либо жесткие критерии, отличающие живое от неживого. Здесь мы сразу сталкиваемся, во-первых, с большей или меньшей «расплывчатостью» любого предлагаемого критерия, а во-вторых, с невозможностью использования каждого критерия в отдельности. И, тем не менее, для отличия живого от неживого люди всегда пользовались какими-либо крите-

риями, которые эволюционировали и множились вместе с человеческой мыслью. Вследствие этого границы живого претерпевали для человека серьезные изменения. Объекты, которые сегодня считаются нами живыми, считались ранее мертвыми (например, люди, впавшие в кому или летаргический сон) и наоборот (представители некоторых племен, находящихся на низком уровне развития, и сегодня считают живыми, например, механические часы). Очевидно, что критерии жизни и границы живого будут и далее меняться для человека в связи с его развитием. Назовем критерии живого, которыми мы пользуемся сегодня.

Способность к обмену веществ и энергии. Важнейший признак живых систем — способность к использованию внешних источников энергии в виде пищи, света и т.п. Через живые системы проходят потоки веществ и энергии, вследствие чего их можно охарактеризовать как *открытые системы*. Основу обмена веществ составляют два взаимосвязанных и сбалансированных между собой процесса: *ассимиляции*, то есть процесс синтеза веществ в организме, и *диссимиляции* — распада в организме сложных веществ на простые, в результате чего выделяется энергия, необходимая для протекания реакций биологического синтеза. Обмен веществ обеспечивает относительное постоянство химического состава всех частей живой системы. Основу обмена веществ составляют следующие жизненно важные для организма процессы.

Питание. Все живые системы способны к питанию. Они используют пищу как источник энергии и веществ, необходимых для роста, развития и обеспечения всех процессов жизнедеятельности. Основные группы органического мира высшего таксономического ранга (царства, империи и т.п.) различаются по способу добывания и переработки пищи с дальней-

шим получением и использованием энергии и различных необходимых веществ. Растения почти все способны к осуществлению фотосинтеза, то есть они сами создают питательные вещества, используя энергию света. Фотосинтез является одной из форм *автотрофного* питания. Животные и грибы питаются иначе — они используют органическое вещество других организмов, расщепляя его с помощью ферментов и усваивая продукты расщепления. Такое питание называется *гетеротрофным*. Гетеротрофами являются также многие бактерии, хотя среди них встречаются и автотрофы.

Выделение (экскреция). Это процесс, регулирующий способность к выведению из организма конечных продуктов обмена веществ. В частности, животные потребляют большое количество белков, и, поскольку белки не запасаются, их необходимо расщеплять и выводить из организма. Поэтому у животных наблюдается выделение в основном азотистых веществ.

Дыхание. Это процесс высвобождения энергии при расщеплении некоторых высокоэнергетических соединений путем химической реакции с участием кислорода. Высвобождаемая энергия, необходимая для жизнедеятельности живой системы, «запасается» в молекулах аденозинтрифосфата (АТФ), который обнаружен во всех живых клетках.

Дискретность (от лат. — прерывистый, состоящий из частей). Это всеобщее свойство материи. Любая биологическая система состоит из отдельных частей, которые, тем не менее, тесно взаимодействуют между собой, образуя структурно-функциональное единство.

Самовоспроизведение. Несмотря на то что продолжительность существования конкретной живой системы ограничена и конечна, все живое — «бессмертно» за счет сохранения главных признаков живой системы у потомства. Природа наследования признаков основыва-

ется на кодировании наследственной информации в молекулах ДНК и РНК, передаваемой от одного поколения к другому. Различают половое и бесполое размножение.

Рост и способность к развитию. При общей видимой аналогии существует глубокое различие между ростом живого и неживого объекта. Объекты неживой природы (кристаллы, сталагмиты и т.п.) растут, присоединяя новое вещество к наружной поверхности. Живые системы растут «изнутри» за счет питательных веществ, которые система получает в процессе автотрофного или гетеротрофного питания. В результате ассимиляции этих веществ образуется новая живая протоплазма.

Свойство отражения. Это одно из общих свойств природных объектов, наиболее показательной формой которого для живых систем является *раздражимость*. Это свойство связано с передачей информации из внешней среды любой биологической системе. Выражается данное свойство реакциями живых организмов на внешнее воздействие. Благодаря раздражимости организмы избирательно реагируют на условия окружающей среды.

Подвижность. Характерное свойство живых систем, наиболее заметно проявляющееся у животных, менее — у растений (внутри клеток и отдельных составных частей растительного организма). Подвижны также некоторые формы бактерий и др.

Единство химического состава. В состав живых организмов входят те же элементы, что и в объекты живой природы. Однако соотношение элементов в живом и неживом неодинаково. В живых системах 98% химического состава приходится всего на четыре элемента: углерод, кислород, азот и водород.

Хиральная чистота. Этот критерий основан на способности живых существ различно «относиться» к оп-

тическим изомерам некоторых веществ (установлено Л.Пастером в 1848 г.). Известно, например, что все белки на нашей планете построены только из левовращающих аминокислот, а нуклеиновые кислоты — только из правовращающихся сахаров.

Выше приведены критерии «земной» жизни, с которой непосредственно имеют дело биологи. В более же широком, универсальном смысле понятие живого предусматривает также рассмотрение дополнительных критериев всех теоретически возможных форм жизни. Они разрабатываются с помощью философии, кибернетики и других наук.

Приведенные критерии живого являются основными и не исчерпывают всей специфичности живых систем в отличие от других материальных. Это «наблюдаемые» критерии, кроме четырех последних. По ним можно определить «жив объект или мертв» лишь приблизительно. Точно же эту границу провести невозможно в связи с тесной «генетической», эволюционной связью протоплазмы с неживой материей (см., в частности, таблицу о распространении минералов в организмах).

Элементы истории знаний о живом.

Развитие биологии шло по пути последовательного сужения конкретных предметов исследований и расширения информации о них. Возникли многочисленные биологические дисциплины, специализирующиеся на изучении структурно-функциональных особенностей определенных организмов. При подобном подходе от простого к сложному законы природы пытаются познать, изучая вместо целого отдельные его части. Другой подход основан на так называемых «виталистических» принципах. В этом случае жизнь рассматривается как совершенно особенное и уникальное явление, которое не поддается объяснению с помощью

только законов физики и химии. Постепенно в процессе эволюции биологических знаний возникали и получали развитие отдельные науки о живой природе, составляющие в комплексе современную биологию.

Интерес к живым системам возник очевидно еще до окончательного формирования вида «человек разумный». Обезьянолюди и человекообезьяны — предки человека в биологической эволюции, — по всей видимости, уже познали ряд практических сведений о живой природе: какие растения пригодны в пищу, какие животные опасны, на каких животных целесообразнее вести охоту, каковы их местообитания и образ жизни и т.п. Некоторые из подобных «собранных фактов» дошли до нас в виде наскальных изображений. Таким образом, человек разумный на заре своей социальной эволюции вынес некоторые знания об окружающих его живых системах.

Древние цивилизации Китая, Месопотамии и Египта накопили огромный фактический материал о растениях и животных соответствующих территорий и одомашнили крупный рогатый скот, овец, свиней, кошек, гусей и уток. Греческие философы, жившие в 6 и 5 в. до н.э., выдвигали различные умозрительные теории о происхождении растений и животных (Анаксимандр, Ксенофан). Философ Аристотель наряду с другими науками рассматривал и многие биологические вопросы. Его труды содержат подробные описания животных и растений Греции и прилежащих областей Малой Азии, причем в этих описаниях можно узнать некоторые виды (несмотря на то, что описания были сделаны еще до создания системы органического мира!). Исследования Аристотеля весьма обширны и разнообразны. Он изучил, в частности, развитие (онтогенез) цыпленка, размножение акул и пчел, развил теорию постепенного изменения животных и растений (их поднятия по

«лестнице природы») под влиянием внутреннего стремления к усложнению своей организации. Кроме того, очень ценны общенаучные философские идеи Аристотеля, например разработка индуктивного метода.

Греческий врач Гален (131–201 гг. н.э.) начал экспериментировать на животных и производить вскрытия. Благодаря применению экспериментального метода он сделал ряд открытий в строении головного мозга и нервов, артерий. На протяжении тринадцати веков он был крупнейшим авторитетом в области анатомии человека, хотя и допустил серьезные ошибки, так как исследовал тело и внутренности различных животных, но не самого человека.

Плиний (23–79 гг. н.э.) составил капитальный труд в 37 томах, содержащий разнообразные сведения о животных и среде их обитания. В период перехода к эпохе Возрождения появились труды Р.Бэкона, А.Великого и Леонардо да Винчи, которые отличались необычайной широтой научного кругозора. Основы анатомии были заложены А.Везалием (1514–1564), накопившим и обобщившим большой фактический материал посредством вскрытия трупов. Его продолжил английский врач Гарвей (1578–1657), который, в частности, подробно описал работу сердца и всей системы кровообращения.

Накопившийся фактический материал позволил описать процесс индивидуального развития организмов и его основные закономерности. Попытка объяснить механизмы этого процесса привела к развитию в 17–18 в. так называемой теории преформации, которая утверждала, что в сперматозоиде (или яйце) содержатся все основные структуры соответствующего взрослого организма.

К.Вольф в 1759 г. выдвинул противоположную гипотезу, предполагавшую, что развитие организмов про-

исходит путем постепенной дифференциации их структур с течением времени. Он пришел к выводу, что яйцо содержит не преформированного зародыша, а только материал, из которого он образуется в дальнейшем. Спор между преформистами и эпигенетиками продолжался вплоть до возникновения в конце 19 в. экспериментальной эмбриологии.

Физиологические исследования в дальнейшем связаны с именами Декарта, Ч. Белла, Ф. Мажанди, изучавших функции головного и спинного мозга, Мюллера, исследовавшего свойства нервов и капилляров, К. Бернара, обобщившего информацию о функциях печени, сердца, головного мозга и плаценты и др.

В 18–19 в. стали обособливаться крупные разделы наук биологического цикла. Дж. Хантер (1728–1793) и Ж. Кювье (1769–1832) посредством изучения сходных структур у различных представителей органического мира положили начало развитию сравнительной анатомии. Р. Оуэн (1804–1892) ввел понятия гомологии и аналогии. Ж. Кювье, кроме того, одним из первых приступил к тщательному изучению ископаемых остатков организмов прошлого, что привело к возникновению палеонтологии. Дж. Рэй (1627–1705) и К. Линней (1707–1778) создали систему классификации организмов и ввели биноменальную номенклатуру, что позволило присвоить каждому существующему или существовавшему ранее представителю органического мира свое «имя» и определить его «место» среди других. В начале 19 в. в виде целостного обобщения формируется клеточная теория, что дает новый толчок развитию наук о клетке. Формулируются закон Бэра, биогенетический закон и другие крупные обобщения.

Дальнейшее развитие комплекса биологических наук протекало еще более стремительно. В каждой из областей был накоплен обширный фактический мате-

риал, были сделаны глобальные обобщения, появилось множество новых направлений и специальных методов исследований.

Уровни организации живой материи

По степени организованности живые системы возможно рассматривать в составе нескольких так называемых уровней организации живой материи. Такое подразделение разными исследователями осуществляется различно. Так, наиболее простая система предусматривает выделение следующих уровней.

1. *Молекулярный.* Любая живая система, как бы сложно она ни была организована, состоит из биологических макромолекул, нуклеиновых кислот, белков, полисахаридов и других органических веществ. Это наиболее примитивный уровень организации живой материи, располагающийся непосредственно «у границы» с неживой материей. На этом уровне начинаются основные процессы жизнедеятельности (обмен веществ, передача наследственной информации и другие), являющиеся критериями живого.

2. *Клеточный.* Клетка является структурной и функциональной единицей, а также единицей развития всех обитающих на Земле живых организмов. На этом уровне прослеживается наиболее четкая работа функций передачи информации и превращения веществ и энергии.

3. *Организменный.* Элементарной единицей этого уровня является особь. Ее необходимо рассматривать в непрерывном развитии как биологическую систему, от момента зарождения до момента прекращения существования. Организм включает в себя системы органов (как бы «подуровень»), каждая из которых специализирована для выполнения конкретных функций, обеспе-

чивающих в целом жизнедеятельность всего организма как единой биологической системы.

4. *Полуляционно-видовой.* Объединяет надорганизменные системы: микропопуляции (демы), популяции, подвиды и виды. Эти биологические системы представляют собой совокупности организмов, объединенных общим местом обитания и другими критериями. В этих системах осуществляются элементарные эволюционные преобразования.

5. *Биогеоценотический.* Основной системой этого уровня является биогеоценоз — совокупность организмов разных видов и различной сложности организации в сочетании с факторами среды их обитания. Биогеоценозы в процессе эволюционного развития и постоянного взаимодействия друг с другом приобретают динамичность и устойчивость, которые никогда не бывают абсолютными.

6. *Биосферный.* Биосфера является совокупностью всех биогеоценозов и, следовательно, биологической системой высшего ранга, наиболее сложной экосистемой, охватывающей все самые разнообразные проявления жизни на планете. На этом уровне осуществляется глобальный круговорот веществ и превращения энергии, связанные с жизнедеятельностью всех биологических систем Земли.

Каждый из этих уровней организации живой материи специфичен, имеет «свои» закономерности и в то же время подчиняется закономерностям других уровней. Каждый уровень изучается собственными биологическими науками с помощью определенных методов исследований.

Такая градация уровней организации не единственна. Другими авторами рассматриваются несколько иные по «объему» уровни организации живого. В качестве иллюстрации этого приведем отличную от

вышеописанной систему уровней организации живой материи (таб. 3.2), предложенную Н.Ф.Реймерсом (1994, с упрощениями).

Таблица 3.2

УРОВНИ				
корпускулярный	биосистемный	экобиосистемный	биоценоз	экосистемный
элементар. частица				
атом				
молекула				
агрегат молекул				
вещество (минерал)	органелла			
порода	клетка			
геологич. формация	ткань			
	орган			
	система органов			
	индивид	особь		
	микрораспространяющая (дем.)	"семья"		
	популяция	экологич. популяция		
		трофическ. уровень	биоцены	
		пищевая цепь		
		экологич. пирамида	биоценозы	биогеоценоз
			биота	
			биобиом	биозона
				подсферы биосферы
				биосфера

Системы органического мира

Система органического мира представляет собой классификацию биосистем организменного уровня. Этим вопросом занимается часть биологии, называемая систематикой.

Таких систем разными авторами предложено много, причем они различаются часто не только соподчиненностью царств, типов и других высших систематических единиц между собой, но и числом выделяемых единиц, в частности царств. Для иллюстрации сказанного обратимся к таблице Л.Маргелис (таб. 3.3, с упрощениями), которая привела ряд систем, предложенных разными авторами, различающихся по числу царств (указано в скобках).

Все известные на сегодняшний день одноклеточные и многоклеточные организмы вполне естественно делятся на две большие группы – прокариоты и эукариоты. К прокариотам относятся бактерии и сине-зеленые водоросли, к эукариотам – зеленые растения, грибы и животные. Первые эукариоты появились около трех миллиардов лет назад в конце докембрия и произошли, по всей видимости, от прокариот.

Клетки *прокариот* (греч. *pro* – до; *karion* – ядро) не имеют оформленного ядра. Генетический материал находится прямо в цитоплазме и не окружен ядерной мембраной.

У *эукариот* (греч. *eu* – настоящий, истинный; *karion* – ядро) имеется настоящее ядро, то есть генетический материал окружен двойной мембраной, которая носит название ядерной оболочки и образует «настоящую» клеточную структуру, легко узнаваемую под микроскопом.

Исследователи Грин, Стаут и Тейлор (1990) в своем учебнике биологии привели для сравнения две наиболее часто встречающиеся системы органического мира (таб. 3.4), обозначив их условно как «схема А» и «схема Б».

Таблица 3.3

Традиционная (2)	По Кертису (3)	По Коуплэнду (4)	По Уиттэйке-ру(5)	По Эдвардсу (7)	По Лидейлу (13)
<u>Растения</u> Бактерии Сине-зеленые водоросли Зеленые водоросли Хризофиты Бурые водоросли Красные водоросли Слизевика Настоящие грибы Мхи Сосудистые растения <u>Животные</u> Простейшие Многоклеточные	<u>Протисты</u> Бактерии Сине-зеленые водоросли Простейшие Слизевика <u>Растения</u> Зеленые водоросли Хризофиты Бурые водоросли Красные водоросли Настоящие грибы Мхи Сосудистые растения <u>Животные</u> Многоклеточные	<u>Монеры</u> Бактерии Сине-зеленые водоросли <u>Протоктисты</u> Простейшие Зеленые водоросли Хризофиты Бурые водоросли Красные водоросли Слизевика Настоящие грибы <u>Растения</u> Мхи Сосудистые растения <u>Животные</u> Многоклеточные	<u>Монеры</u> Бактерии Сине-зеленые водоросли и скользящие бактерии <u>Протисты</u> Простейшие Хризофиты Эвгленовые Гипохитриды Плазмодиофоры <u>Растения</u> Зеленые водоросли Бурые водоросли Красные водоросли Мхи Сосудистые растения <u>Грибы</u> Слизевика Оомицеты Хитриды Настоящие грибы <u>Животные</u> Многоклеточные	<u>Цианохлоробионты</u> Сине-зеленые водоросли <u>Эритробионты</u> <u>Хлоробионты</u> Зеленые водоросли Мхи Сосудистые растения Эвгленовые <u>Миксобиионты</u> Слизевика <u>Грибы 1</u> Безжгутиковые грибы Хитриды <u>Грибы 2</u> Гифомицеты Гипохитриды Оомицеты <u>Хромобионты</u> Бурые водоросли Хризофиты	<u>Монеры</u> Бактерии Сине-зеленые водоросли <u>Красные водоросли</u> <u>Растения</u> Зеленые водоросли Харовые Мхи Сосудистые растения <u>Эвгленовые</u> <u>Миксомиценты</u> <u>Грибы</u> Настоящие грибы <u>Гетероконты</u> Оомицеты Бурые водоросли Диатомовые Желтозеленые водоросли <u>Эустигматопфиты</u> <u>Гаптофиты</u> <u>Криптомонады</u> <u>Динофлагелляты</u> <u>Мезозои</u> <u>Животные</u>

А

Живые организмы			
Вирусы	Прокариоты		Эукариоты
	Бактерии	С.-з. водоросли	

Б

Живые организмы								
Вирусы	Протисты						Растения	Животные
	Бактерии	С.-з. водоросли	Другие одноклеточные водоросли	Простейшие	Слизевики	Одноклеточные грибы		

Классификация «Б» носит более искусственный, хотя и более удобный характер. Ее возникновение в значительной степени обусловлено историческими причинами. Она была создана в то время, когда все живое делили лишь на два царства: растений и животных. Бактерии и другие примитивные организмы, открытые позднее, никак не укладывались в эти категории. Кроме того, у некоторых видов бактерий имеются одновременно признаки и растений, и животных. Например, слизевики по многим признакам похожи на амёб, но часто образуют плодовые тела, как грибы. По этой причине в 1866 г. было выделено еще одно царство – про-

тисты. В него вошли бактерии, водоросли, грибы и простейшие. Основным признаком, объединяющим представителей этого царства и отличающим их от представителей других царств, — очень простое, слабо дифференцированное строение клетки. Сегодня большинство авторов относит к протистам только одноклеточные организмы. Прокариот, входящих в царство протистов, некоторые исследователи называют монерами.

Клеточный уровень

Клетка — структурная и функциональная единица живых организмов. Подобное представление, известное сегодня как одно из положений «клеточной теории», сложилось постепенно в течение 19 в. в результате развития микроскопических исследований. Наука, занимающаяся изучением клетки, в то время получила название цитологии. К концу 19 в. изучение клеток приобрело в значительной мере экспериментальный характер, а сегодня существует целая крупная отрасль науки, получившая название «биологии клетки». Для постижения закономерностей жизнедеятельности на клеточном уровне используются самые разнообразные методы.

Назовем основные события из *истории изучения клетки* (по Грин, Стаут, Тейлор, 1990).

1590 — Янсен изобрел микроскоп — устройство для увеличения с помощью системы двух линз.

1665 — Роберт Гук усовершенствовал микроскоп, изучил с его помощью строение пробки. Он впервые употребил термин «клетка», понимая под этим словом структурную единицу ткани. Р. Гук считал, что клетки сами по себе пустые, а живое вещество целиком сосредоточено в их стенках.

1650—1700 — Антони ван Левенгук при помощи простейших, но хорошо отшлифованных линз добился

увеличения до 200 раз. Он наблюдал различные одноклеточные организмы, в том числе бактерии. В 1676 г. впервые описал бактерии в научной литературе.

С 1700 по 1800 г. опубликовано множество описаний и рисунков клеток, составляющих самые разнообразные ткани (преимущественно растительные). Таким образом, был накоплен значительный фактический материал.

1827 — Долланд добился значительного улучшения качества линз. Вследствие этого интерес к микроскопическим исследованиям резко возрос.

1831—1833 — Роберт Браун впервые описал обнаруженное им в растительных клетках ядро как микротело сферической формы. Это событие оказалось чрезвычайно важным для развития клеточной теории, так как показало сложность строения простой на первый взгляд клетки.

1838—1839 — Ботаник Шлейден и зоолог Шванн объединили разные идеи и сформулировали таким образом «клеточную теорию». В то время она практически сводилась к одному положению, гласящему, что основной единицей структуры и функции в живых организмах является клетка.

1840 — Пуркинье доказал, что живое вещество сосредоточено в содержимом клеток, а не в их оболочках, как считалось ранее. На основании этого наблюдения он предложил термин протоплазма, под которым понимал клеточное содержимое, и термин цитоплазма — «протоплазма без клеточного ядра».

1855 — Вирхов показал, что все клетки образуются из других клеток путем деления.

1866 — Геккель установил, что хранение и передача наследственных признаков осуществляется ядром клетки.

1866–1868 – разными исследователями было подробно изучено строение клетки на уровне отдельных органелл и описаны хромосомы.

1880–1883 – открыты пластиды, в том числе хлоропласты.

1890 – открыты митохондрии.

1898 – открыт комплекс Гольджи.

1887–1900 – усовершенствован микроскоп, а также методы фиксации препаратов и приготовления срезов. Цитология начинает приобретать экспериментальный характер. Ведутся эмбриологические исследования с целью выяснить, каким образом клетки взаимодействуют друг с другом в процессе роста многоклеточного организма. Обособливается цитогенетика – одна из отраслей цитологии, изучающая роль ядра клетки в передаче наследственных признаков.

1900 – развитие цитологии несколько замедляется, так как световой микроскоп достиг теоретического предела своей разрешающей способности, и исследователи были поставлены перед необходимостью разработки нового технического оснащения экспериментов. Законы Менделя, открытые им в 1865 г., вновь «переоткрыты», что дало мощный толчок развитию цитогенетики.

1930-е гг. – создан электронный микроскоп с более высокой разрешающей способностью.

1946 – настоящее время – «ультраструктурный» период развития наук о клетке. Электронный микроскоп получил очень широкое распространение в биологии, дав возможность изучить клетку подробнее уровня отдельных органелл.

Эволюцию знаний о клетке можно схематично отразить зависимостью объекта изучения от уровня развития технического оснащения (таб. 3.5).

Таблица 3.5

структуры	прибор	объект изучения
структура	световой микроскоп, увеличение десятки-сотни раз	общая форма и крупные органеллы: ядро, вакуоли, мембрана
микроструктура	световой микроскоп, увеличение до 1500 раз	мелкие органеллы
ультраструктура	электронный микроскоп	строение отдельных органелл

Некоторые методы изучения клеток

Метод дифференциального центрифугирования. В основе метода используется различие органелл клетки по плотности. При очень быстром вращении в специальной ультрацентрифуге органеллы тонко измельченных клеток выпадают в осадок из образовавшейся взвеси, располагаясь послойно в зависимости от своей плотности: чем плотнее компонент, тем при более низкой скорости он осядет. Осажденные «слои» органелл разделяют и исследуют далее отдельно.

Метод меченых атомов. Эффективен при изучении происходящих в клетке биохимических процессов. В вещество, превращение которого необходимо проследить, вводится радиоактивная метка, то есть в молекуле вещества один из атомов замещается на соответствующий радиоактивный изотоп. Наиболее часто для этой цели используются изотопы ^3H , ^{14}C и ^{32}P .

Изотопы одного и того же элемента не различаются по химическим свойствам. Зато они могут различаться по физическим свойствам, в частности по радиоактивности. Фиксируя излучение находящегося в клетке радиоактивного изотопа, можно проследить за превращениями вещества, в которое включен этот изо-

топ, установить последовательность этапов химических превращений, продолжительность их во времени, зависимость от условий и другие характеристики.

Флуоресцентная микроскопия. Этот метод основан на наблюдениях за живыми клетками в ультрафиолетовом свете. Под действием ультрафиолетового излучения многие компоненты клеток начинают светиться. Причем у одних это свойство проявляется естественно, у других — при каких-либо дополнительных воздействиях, например при добавлении специальных красителей. С помощью этого метода возможно выявить участки концентрации жиров, нуклеиновых кислот, витаминов и других содержащихся в клетке веществ.

Основные положения клеточной теории

В современном органическом мире можно наблюдать очень широкие различия между клетками по форме, размерам и другим признакам. Так, например, эритроциты человека имеют форму двояковогнутого диска. Нервные клетки имеют неправильную разветвленную форму. Длина их дендритов или аксонов иногда превышает один метр. В то же время клетки малярийного плазмодия, несмотря на сложную организацию, имеют размеры, не превышающие как правило 5 мкм, и обладают способностью паразитировать внутри эритроцитов человека.

При всем многообразии своих характеристик все клетки устроены по определенным принципам и обладают всеми признаками и свойствами, необходимыми для поддержания жизни. Обобщением, характеризующим основные свойства клеток в целом, является клеточная теория. Ее основные положения можно сформулировать следующим образом.

1. Клетка представляет собой элементарную живую систему, являющуюся основой строения и процес-

сов жизнедеятельности (структуры и функции) прокариот и эукариот. Внеклеточных живых систем на сегодняшний день не известно. Единственным исключением можно назвать вирусы. Но возникновение и развитие вирусов возможно только внутри клетки другого организма.

2. Клетки всех известных на сегодняшний день организмов имеют сходство в общих чертах строения и химического состава.

3. Процесс образования новых клеток может осуществляться только путем деления ранее существовавших клеток.

4. Клетка является единицей роста и развития многоклеточного организма, то есть рост и развитие организма в целом является следствием роста, размножения и развития клеток.

5. Всеобщее клеточное строение организмов говорит о том, что все живые системы имеют сходное происхождение.

Взаимоотношения клеток в организме

Клетки многоклеточного организма объединены в различные ткани и органы и специализированы на выполнении разнообразных функций. Вследствие этого клетки разных тканей и органов различаются по размерам, форме, набору органелл и другим признакам. Например, в секреторирующих клетках хорошо развиты эндоплазматическая сеть, рибосомы, аппарат Гольджи, гранулы различных веществ. Клетки мышечных тканей имеют хорошо развитые митохондрии и белковые волокна.

Ядра всех клеток организма содержат одинаковую ДНК, но процесс считывания информационной РНК в разных тканях происходит с различных участков ДНК.

Следовательно, синтезируемые на рибосомах с этих РНК белки также будут различаться.

Клетки, приспособленные к выполнению определенных функций, не могут самостоятельно выполнять остальные жизненно важные функции. Таким образом, все клетки в организме взаимозависимы и нуждаются в системе взаимосвязей.

Можно указать несколько основных механизмов взаимодействия клеток между собой.

1. Непосредственно соседствующие в тканях клетки связаны каналами, что обеспечивает быстрое и интенсивное перемещение веществ.

2. Клетки способны к обмену сигналами путем синтеза и распространения определенных веществ. Различают такие вещества «ближнего» и «дальнего» действия. Первые ограничивают свое действие в непосредственно прилежащих частях ткани. Вторые могут достигать самых удаленных клеток организма, влияя на их функции.

Ко вторым относятся, например, гормоны — продукты деятельности желез внутренней секреции. На конкретный гормон способны реагировать клетки, в плазматической мембране которых имеются соответствующие рецепторы, способные связываться с молекулами гормона. В свою очередь синтез гормонов регулируется сигналами о состоянии организма, поступающими от всех рецепторов в промежуточный мозг и далее в центральную железу внутренней секреции (гипофиз). Такая система известна у позвоночных животных и высокоразвитых беспозвоночных — моллюсков, членистоногих и др.

3. Особое положение в системе взаимодействия клеток занимают нервные клетки. Они координируют деятельность всех частей организма и обеспечивают взаимодействие организма с внешней средой. Нервные клетки

передают друг другу сигналы двумя путями: 1 — путем прямого электрического взаимодействия через специальные клеточные контакты; 2 — с помощью так называемых медиаторов — специальных веществ, вырабатываемых нервными и рецепторными клетками, осуществляющих функцию посредников при передаче сигнала.

Механизмы взаимодействия клеток обеспечивают контроль за интенсивностью процесса синтеза белков и за количественными показателями процесса клеточного деления. У клеток одних тканей деление происходит быстрее, других — медленнее. В процессе онтогенеза многие клетки постепенно специализируются и перестают делиться. Во взрослом организме деление клеток происходит лишь в немногих обновляющихся тканях, например в кроветворной, эпидермальной, лимфоидной.

Некоторые клетки после дифференциации не теряют способности к делению и реализуют эту способность в случае, например, повреждения ткани. Некоторые клетки взрослого организма сохраняют способность к делению и дифференциации в определенном направлении — они носят название *стволовые клетки*.

Контроль клеточного деления очень важен для организма как для целостной биологической системы. Наблюдаются случаи выхода клеток отдельных тканей из-под контроля организма. В этом случае начинается их интенсивное деление, приводящее к образованию опухолей. Такие клетки носят название *раковых*.

Изучение регулирующих механизмов имеет большое практическое значение, в частности, для выращивания так называемых клеточных культур на основе извлеченных из организма клеток, помещенных в определенные условия.

Сначала клетки активно делятся и равномерно распределяются по предоставленной им поверхности слоем толщиной в одну клетку. После занятия всей по-

верхности деление прекращается, некоторое время ситуация не меняется, а затем в клетках наблюдаются различные нарушения процессов жизнедеятельности. Если часть клеток «пересадить», то деление может начаться вновь. Однако после нескольких пересадок деление не возобновляется даже на новой среде. Причем клетки, взятые из взрослого организма, способны делиться меньшее число раз, чем клетки эмбрионов. Это явление носит название *феномена Хейфлика* и объясняется развитием процессов старения клеток. Исключением из этого явления являются клетки раковых опухолей.

Системы клеток в организме, сходных по структуре и функциям, носят название тканей. Наука, изучающая ткани, называется гистологией. По определению Грина, Стаута и Тейлора (1990) «*ткань* — группа физически объединенных клеток и связанных с ними межклеточных веществ, специализированных для выполнения определенных функций». Специализация повышает эффективность работы всего организма как целостной биологической системы и в то же время вызывает необходимость создания в организме координирующих, управляющих механизмов.

Различные ткани часто объединяются в более крупные структуры, входящие в состав целостного организма и называемые *органами*. По организации на этом уровне резко различаются между собой представители царств животных и растений. Растения практически не имеют внутренних органов (за исключением проводящих пучков). В то же время органы животных многочисленны, хорошо дифференцированы и обладают способностью объединяться в еще более крупные структуры в составе организма — так называемые *системы органов*.

Ткани, органы и системы органов определенных представителей органического мира — предмет изуче-

ния конкретных разделов организменной биологии (зоологии, ботаники и т.д.). Ткани растений можно разделить на две группы в зависимости от того, входят ли в их состав клетки только одного или нескольких типов. Животные ткани подразделяются на четыре группы: эпителиальные, соединительные, мышечные и нервные.

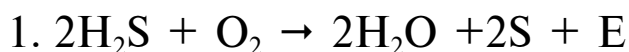
Энергетическое обеспечение клеток

Основным источником энергии для подавляющего большинства известных организмов служит солнечная энергия. Хотя нельзя не сказать, что число исключений из этого правила все возрастает — постоянно открываются представители органического мира, энергетика которых не связана непосредственно с солнечной энергией. Относительно недавно стали известны такие обитатели зон подводного вулканизма, и число подобных примеров продолжает стремительно нарастать.

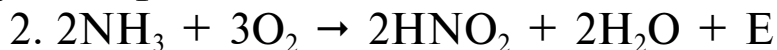
«В чистом виде» солнечная энергия используется только клетками растений, а также некоторых водорослей и бактерий. Эти клетки обладают возможностью, используя световую энергию, синтезировать различные органические соединения (углеводы, жиры, белки и др.). Этот механизм носит название *фотосинтеза*. Исходным материалом этого процесса служит углекислота атмосферы и вода. В качестве источников N, P, S и других веществ используются соответствующие соединения почвы и водной среды. Источником N является также атмосферный воздух (N входит в состав аммиака NH_3 и далее включается в состав аминокислот, белков, нуклеиновых кислот и т.д.). Продуктом фотосинтеза является кислород. Вещества, созданные фотосинтезирующими организмами, используются подавляющим большинством остальных представителей органического мира Земли, в том числе и человеком.

Однако фотосинтез является не единственным энергетическим процессом в клетках. *Хемосинтезом* называют процесс создания органического вещества организмами, не содержащими хлорофилл (то есть «нефотосинтезирующим способом»). Процесс осуществляется благодаря энергии, выделяемой при протекании реакций окисления различных неорганических веществ (H_2 , H_2S , NH_3 и др.), и запасается в виде АТФ.

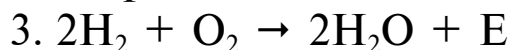
В зависимости от исходного окисляемого вещества можно выделить несколько разновидностей хемосинтеза.



Такие превращения осуществляются серобактериями, обитающими в огромных количествах в областях, насыщенных сероводородом (например, в глубинных водах Черного моря). В случае недостатка H_2S они способны еще более окислить выделившуюся свободную серу до серной кислоты.



Эта реакция протекает в организмах нитрифицирующих бактерий, которые очень широко распространены в водоемах и особенно в почвах. Образующаяся азотистая кислота может являться сырьем для других групп нитрифицирующих бактерий, которые способны окислить ее до азотной кислоты с выделением энергии.



Такой процесс дает энергию для жизнедеятельности водородокисляющим бактериям. «Сырьем» служит водород, выделяющийся при анаэробном разложении органического вещества почвенными микроорганизмами.

Хемосинтетические процессы играют важнейшую роль в эволюции биосферы и литосферы. Эта роль в последнее время лишь начинает по настоящему оце-

ниваться вследствие открытий все новых хемосинтезирующих организмов и новых процессов биохемосинтеза. Создание и переработка многих железных руд, природных углеводородных соединений и другие глобальные в масштабах литосферы процессы протекают во многом благодаря хемосинтезирующим микроорганизмам, огромная, если не ведущая роль которых в создании биогеохимического облика планеты становится все более очевидной.

Организменный уровень

Классификация и номенклатура организмов

Многообразие существующих и существовавших на Земле организмов вызывает необходимость в систематизации сведений о них. Одним из путей наведения такого «порядка» в любой науке является классификация. Наука о биологической классификации называется *систематикой*. Ее основной задачей является объективное объединение представителей органического мира в группы (так называемые *таксоны*) на основе анализа признаков организмов с целью создания их упорядоченной системы.

Существуют два типа классификаций — искусственная (условная, утилитарная) и естественная. *Искусственная* основывается, как правило, на результатах визуального анализа наиболее бросающихся в глаза признаков. Она создается и применяется при решении ограниченных специфических задач, когда главным критерием классификации является удобство ее использования. Например, всех моллюсков можно подразделить на пресноводных, солоноватоводных и морских по степени осолоненности среды их обитания. Можно создать классификацию по окраске, способности к передвижению и

т.д. Такой подход часто используется для классификации по ископаемым остаткам, когда исследователь имеет возможность работать только с ограниченным набором признаков.

Более закономерной является *естественная* классификация, которая может быть фенотипической или филогенетической в зависимости от положенного в ее основу критерия. *Фенотипическая* классификация основывается на данных о морфологическом, цитологическом, биохимическом сходстве. Но она не учитывает эволюционных связей между организмами, хотя может их отражать и их можно представить графически в виде так называемой *дендрограммы*.

Филогенетическая классификация используется более часто и базируется на эволюционных взаимоотношениях организмов. В ее основе лежат особенности происхождения и наследования организмами признаков в процессе эволюции. При создании филогенетической классификации предполагают, что относящиеся к одному таксону организмы имели общего предка, то есть сходство характеризующих их признаков обусловлено родством. Графически их взаимосвязи в процессе эволюции можно выразить родословным деревом, называемым *кладограммой*.

Основным принципом всех классификаций является выработка соответствующей шкалы связанных между собой иерархической зависимостью классификационных уровней. В систематике также существует иерархия между таксонами. В современной систематике принята следующая соподчиненность таксонов (таб. 3.6), основа которой предложена К.Линнеем в 1758 г.

Таблица 3.6

1	Царство	Regnum
2	Тип	Phyllum
3	Класс	Classis
4	Отряд	Ordo
5	Семейство	Familia
6	Род	Genus
7	Вид	Species

Таксоны 1 – 7 являются основными. Существуют также дополнительные – под- и над- таксоны (лат. *sub* – под (например, *subordo* – подотряд), лат. *super* – над (например *superfamilia* – надсемейство)). Под- и надтаксоны могут быть у каждого из основных. Кроме того, иногда используют и иные дополнительные таксоны. К таковым относится, например, триба (между надродом и подсемейством). Любой таксон, состоящий из одного подчиненного, называется монотипическим, из более чем одного – политипическим.

Согласно классификации, каждый организм должен занимать определенное место в системе органического мира. Для этого исследователи пользуются принятыми ими правилами, обобщенными в так называемых международных кодексах номенклатуры. Кодексы утверждаются международными конгрессами, в них постоянно вносятся изменения и дополнения. Цель кодексов, как записано в преамбуле Международного кодекса зоологической номенклатуры, «обеспечить стабильность и универсальность научных названий животных, так чтобы каждое название было единственным и отличным от других. Все его положения служат этой цели, и ни одно не ограничивает свободу мыслей или действий в области таксономии». Выполнение кодексов контролируется Международными комитетами по номенклатуре.

Основным принципом биологической номенклатуры является принцип приоритета. Общепринятой в современной биологии является так называемая бинарная номенклатура, согласно которой каждый представитель органического мира обязательно должен иметь свои «фамилию, имя и отчество» на латинском языке: «фамилия» — название рода, «имя» — название вида, «отчество» — латинизированная фамилия автора, впервые описавшего данный вид в научной литературе. При первом описании вида фамилия автора пишется полностью и к ней добавляется аббревиатура *sp. nov.* (*species novum* — вид новый). В дальнейшем фамилия автора может писаться сокращенно, а вместо *sp. nov.* ставится год первого описания. Например: *Rusnodonte freidlini Sobetski, 1982.*

Подвид имеет двойное название, а в названии подвида к видовому названию добавляется собственно подвидовое. Таким образом, наиболее длинное из возможных названий имеет вид, например: *Cardium (Cerastoderma) edule lamarki Reeve.*

Иногда различные таксоны случайно получают одинаковые названия. В этом случае они именуются *гомонимами* и, согласно принципу приоритета, название, появившееся в печати позже, заменяется другим. Возможно также появление различных названий одного и того же таксона (*синонимов*). Такая ситуация разрешается аналогично в соответствии с принципом приоритета — используют наиболее раннее название.

Достаточно часто, особенно при описании представителей органического мира прошлых эпох, используется так называемая *открытая номенклатура*, когда точное название таксона по каким-либо причинам определить невозможно. В зависимости от причин такой «неполноты» после определяемой части названия ставится соответствующая аббревиатура. Например:

Oxytomas sp. indet. (species indeterminata – вид неопределим). Это означает, что остатки данного организма принадлежат представителю рода *Oxytoma*, но видовое название определить невозможно по причине плохой сохранности остатков.

«Проблематики»

Проблематиками называют организмы и(или) их остатки, не имеющие в современной системе органического мира определенного места. Они часто являются вымершими организмами, и неясность их положения определяется рядом различных причин, из которых основными являются: 1 – невозможность реконструкции по ископаемым остаткам проблематичного организма до необходимой степени ясности его строения, 2 – неясность родства.

Например, в ископаемом состоянии и в современном животном мире встречаются так называемые остракоды – микроскопические рачки, заключенные в двустворчатую раковину, принадлежащие к ракообразным организмам. Предположим, что современные представители остракод не дожили бы до сегодняшнего дня. Тогда, находя ископаемые остатки остракод, исследователи вряд ли отнесли бы их к ракообразным. Скорее всего, они были бы описаны как проблематичный новый класс или тип.

Различают как бы несколько «степеней проблематичности».

1. Остатки представляют собой непонятную часть организма и, следовательно, сам организм точно описать невозможно.

2. Остатки позволяют установить основные признаки организма, но проблематичность обуславливается несоответствием этих признаков ни одной из известных на сегодняшний день групп организмов. Обыч-

но в таком случае дальнейшее изучение позволяет либо выделить новую группу организмов, либо существенно пересмотреть объем какой-либо из «старых» и включить данные проблематики в ее состав.

Особым случаем можно назвать так называемые ихнофоссилии («невидимые организмы») — ископаемые остатки, имеющие какое-либо отношение к живым организмам, но не позволяющие точно описать их. Сюда относятся следы ползания, зарывания и т.п.

Как правило, любую группу организмов (комплекс остатков) со временем удастся сделать менее проблематичной путем тщательного изучения ее представителей и их связей с известными группами. Поэтому подробное описание и тщательное исследование всех проблематичных остатков — важнейшая задача для пополнения наших знаний о биологическом разнообразии.

Ключи для определения организмов

Исследователям часто приходится решать задачи по идентификации конкретной особи или конкретных ископаемых остатков особи, то есть по нахождению места этого организма в системе органического мира. Для этого разрабатываются так называемые ключи, представляющие собой упорядоченное, табулированное расположение признаков.

В качестве примера рассмотрим шведский ключ. Он представляет собой ступенчато расположенные характеристики признаков организмов. Каждая ступень состоит чаще всего из двух противоположных характеристик — тезы и антитезы. Сравнивая признаки определяемой особи с таковыми в ключе, исследователь постепенно находит все более точно место данного организма в системе органического мира, пока не встретит в конце одной из характеристик искомое название таксона, к которому принадлежит определяемый организм.

Явление изменчивости

Изменчивостью называют совокупность различий по признакам между организмами, принадлежащими одной и той же популяции и виду. Поскольку выделяют дискретные и непрерывные признаки, то соответственно можно различать дискретную и непрерывную изменчивость. Так как проявление в фенотипе признаков обусловлено генотипом и средой, то и источники изменчивости признаков можно разделить на обусловленные генотипом и обусловленные действием факторов внешней среды.

Изменчивость организмов, размножающихся бесполым путем, зависит практически полностью от внешней среды, так как механизм реализации ДНК при митозе очень близок к совершенству.

Что касается организмов, размножающихся половым путем, то они имеют широкие возможности возникновения различий. Практически неограниченными источниками генетических изменений являются следующие: 1 — обмен генами между хроматидами гомологичных хромосом при мейозе; 2 — случайная ориентация и последующее независимое расхождение (сегрегация) хромосом делают возможным большое число различных хромосомных комбинаций в гаметах; 3 — при половом размножении слияние мужских и женских гамет, приводящее к объединению двух гаплоидных наборов хромосом, происходит случайным образом. Любая мужская гамета теоретически способна слиться с любой женской гаметой.

Эти источники генетической изменчивости обеспечивают постоянное «перемешивание» генов, что обуславливает постоянные генетические изменения. Условия среды оказывают воздействие на весь ряд получающихся таким образом фенотипов, и приспособленные к среде наилучшим образом преуспевают в

своем развитии. Это ведет уже к изменениям в популяции — изменяются частоты аллелей и генотипов.

Однако все эти изменения способны преобразовывать признаки, составляющие фенотип, только в пределах, лимитируемых генотипом. Для осуществления же преобразований на эволюционном уровне необходимы «дополнительные» механизмы.

Глава 4. Проблема происхождения жизни на Земле

Второй этап развития Земли после ее образования как планеты связан с возникновением на ней жизни. На данный момент известно, что вода появилась на нашей планете около 4–3,5 млрд лет назад, а затем — первые бактерии приблизительно 3,8–3,5 млрд лет назад. Как именно появилась жизнь на нашей планете, одновременно с образованием планеты или потом, есть ли жизнь во всей Вселенной или только на Земле?

Первое научное направление постулирует, что жизнь во Вселенной всегда была, есть и будет. Другое дело, в какой она форме. Вселенная может содержать в себе составные части для зарождения жизни. Другими словами, жизнь была принесена на Землю из космоса (гипотеза «космозоев»).

Гипотеза панспермии С.Аррениуса (конец XIX в.) предусматривала занос спор микроорганизмов, рассеянных по всей Вселенной, на Землю. Сейчас известно, что в космосе бактерий или вирусов не обнаружено, однако органические химические соединения, аминокислоты, спирты, углеводороды и другие соединения, способные образовать клеточные мембраны первичных организмов, присутствуют в метеоритах и кометах, космической пыли, которой ежегодно выпадает на Землю 40 тыс. т.

Падение метеоритов на Землю во время периода интенсивной метеоритной бомбардировки (4,2–3,9 млрд лет назад) инициировало возникновение ударных волн и выделение тепла, которые, возможно, вызывали химические реакции в древней атмосфере.

Другими аргументами в пользу всегда существовавшей жизни во Вселенной могут быть неопознанные летающие объекты (НЛО) или предполагаемые сооруже-

ния на других планетах («марсианский сфинкс, марсианские пирамиды»). Есть даже гипотезы, что инопланетяне способствовали зарождению жизни на Земле, а мы — результат этого долгого научного эксперимента.

Второе научное направление утверждает, что жизнь на Земле возникла автономно, независимо от существующей или несуществующей жизни во Вселенной: при благоприятном стечении обстоятельств.

Трудно установить истину. Возможно, дальнейшее исследование космоса и недр нашей планеты послужит ключом к разгадке этой тайны.

Каким образом предбиотические органические соединения — аминокислоты или нуклеиновые кислоты превратились в живое вещество?

Ключевую роль при этом должен играть синтез РНК (рибонуклеиновой кислоты), из которой в дальнейшем возникают живые клетки, состоящие из ДНК (дезоксирибонуклеиновой кислоты).

В 1953 г. ученые *Миллер* и *Юри* (или *Ури*) смоделировали условия зарождения жизни при помощи экспериментальной установки. Целью опыта было доказательство *возможности самообразования аминокислот в первичной среде Земли*. Исследователи воссоздали протоатмосферу из метана, аммиака, водорода и паров воды, а также протогидросферу. Через эту смесь пропускали разряды электрического тока. Через несколько дней в «протоокеане» были обнаружены аминокислоты.

Последние исследования выявили ряд недостатков этой гипотезы-эксперимента.

1. Образовавшиеся аминокислоты сразу же были изолированы с помощью механизма «холодного капкана». В ином случае условия окружающей среды, где образовались аминокислоты, сразу же разрушили бы эти молекулы. Существование в первичной среде Земли подобного механизма не доказано. А без него рас-

щепление белков неизбежно. Кроме того, без «холодного капкана» химические вещества были бы разрушены под воздействием электрической энергии. Когда Миллер не использовал «холодный капкан», то не получил аминокислоты.

2. Состав первичной атмосферы в опыте Миллера и Юри был некорректен. Между тем, последние исследования показали, что атмосфера должна была состоять, скорее всего, из азота, двуокиси углерода и водяного пара, которые не столь благоприятны для образования органических молекул, как аммиак и метан. Американские ученые Феррис и Чен повторили опыт Миллера, используя двуокись углерода, водород, азот и водяной пар, и в результате не смогли получить ни одной аминокислоты.

3. В атмосфере кислорода было мало, но достаточно для того, чтобы разрушить аминокислоты. Если бы в опыте был использован кислород, то метан превратился бы в двуокись углерода и воду, а аммиак — в азот и воду. С другой стороны, в среде, где отсутствует кислород (из-за отсутствия озонового слоя), очевидно разрушение аминокислот под воздействием прямых ультрафиолетовых лучей.

4. В результате опыта Миллера одновременно образовались и органические кислоты, нарушающие целостность и функции живого организма. Если бы эти аминокислоты не были изолированы, то в результате химической реакции они были бы разрушены или превращены в другие соединения.

Гипотеза академика А.И. Опарина (1923) о происхождении живых существ из мертвых, безжизненных веществ («Знание — Сила» №1 — 2.1947). Первые сложные углеводороды могли возникать в океане из более простых соединений, постепенно накапливаться и приводить к возникновению «первичного бульона».

Стадия 1. Образование углеводов в результате соприкосновения извергнутых из недр на земную поверхность огненно-жидких карбидов (соединений углерода и железа) с перегретым паром доисторической атмосферы. Великий русский химик Д.И.Менделеев доказал, что при взаимодействии карбидов, в частности карбидов железа, с водяным паром элемент углерод, входящий в состав карбидов, соединяется с водородом, входящим в состав воды, и при этом образуются углеводороды.

Стадия 2. Первоначально углеводороды находились в виде газов во влажной атмосфере Земли. Планета постепенно остывала, и когда температура ее поверхности приблизилась к 100 градусам, водяной пар стал сгущаться в капли и в виде дождя устремился на горячую пустынную поверхность Земли. Мощные ливни хлынули на Землю, затопили ее и образовали первородный горячий океан. Находившиеся в атмосфере углеводороды тоже были увлечены этими ливнями и перешли в воды океана.

Стадия 3. Углеродистые соединения медленно, но неуклонно вступали между собой во все новые и новые химические взаимодействия. Их частицы увеличивались и усложнялись. Появлялись органические вещества все более сложного состава и строения. Так постепенно в течение многих и многих тысячелетий сформировался тот материал, те сложнейшие органические вещества (в частности, белки), из которых в настоящее время построены живые организмы. Однако это был еще только материал. Чтобы стать живым существом, этот материал должен был приобрести необходимое строение, определенную организацию.

Стадия 4. Белковые вещества при смешивании их водных растворов могут выделяться в виде мелких, видимых под микроскопом капелек, которые были назва-

ны коацерватами. Можно получить коацерваты искусственным путем, смешивая, например, растворы яичного белка или желатины с гуммиарабиком. Несмотря на свое жидкое состояние, коацерватные капельки обладают некоторым внутренним строением, некоторой организацией, правда, еще очень простой и весьма неустойчивой. Но благодаря этой организации они способны улавливать из окружающего раствора различные вещества. В результате этого каждая коацерватная капелька при благоприятных условиях может увеличиваться в объеме и весе, то есть она может расти. Такого рода капельки должны были возникнуть и в первичном океане Земли. Ведь они образуются при простом смешивании белковых веществ. Попробуем мысленно проследить за дальнейшей судьбой этих впервые возникших коацерватных капелек.

Стадия 5. Коацерваты плавали не просто в воде, а в растворе разнообразных органических веществ. Они улавливали эти вещества и таким образом росли. Но скорость роста отдельных капелек была неодинакова. Она зависела от внутреннего строения каждой капельки, а разные капельки обладали различной организацией. Одни из них вбирали в себя органические вещества окружающего раствора быстро, тогда как другие — медленно. Но эти «неудачники» не могли существовать долго. Вскоре они распадались, и заключенные в них органические вещества вновь переходили в окружающий раствор и поглощались более совершенными по своему строению капельками. Эти последние, напротив, быстро разрастались. Так возник естественный отбор наиболее совершенных по своему строению капелек. Неудачные формы организации сами собой уничтожались, исчезали с лица Земли. В водах первичного океана сохранялись только такие коацерваты, внутреннее строение которых из поколения в поколение дела-

лось все совершеннее, все более и более приспособленным к быстрому поглощению органических веществ, к усвоению их, к быстрому росту и размножению. Но чем дальше шел этот процесс, чем меньше оставалось органических веществ в водах океана, тем все строже и строже становился естественный отбор. Между капельками возникла прямая борьба за существование. Более просто устроенные, менее приспособленные капельки в этой борьбе рано или поздно погибали. Расти и размножаться далее могли только такие образования, которые в результате последовательных превращений приобрели очень сложное, но вместе с тем и очень совершенное внутреннее строение. Это уже не были простые коацерватные капельки. Это были первичные организмы, простейшие живые существа — родоначальники всего живого на Земле.

Эта гипотеза имеет ряд недостатков. Коацерваты, при всей сложности их организации, тем не менее не могут считаться живыми организмами прежде всего потому, что у них нет стабильного самовоспроизведения, жесткой структурной организации, функционального взаимодействия между белками и нуклеиновыми кислотами.

Английский ученый *Холдейн* из Кембриджского университета в 1929 г. опубликовал свою гипотезу, согласно которой жизнь зародилась в результате химических процессов в атмосфере Земли, богатой диоксидом углерода. Первые существа — «огромные молекулы». В его гипотезе не рассматривались гидрофильные комплексы и/или коацерваты. Из-за близости взглядов на некоторые принципиальные моменты происхождения жизни на Земле взгляды этого современника А.И.Опарина и его предшественника *объединены в гипотезу Опарина-Холдейна*.

Гипотеза У.Гилберта гласит, что первичные организмы состояли из простых самовоспроизводящихся

молекул РНК. В дальнейшем эти организмы приобрели способность синтезировать белки, что ускорило скорость репликации, и липиды, сформировавшие мембрану, отграничившую внутреннюю среду организмов от внешней среды. Так возникла клетка. Далее функция носителя генетической информации перешла к ДНК, более эффективным в этом отношении. Отдельные стадии этой гипотезы произведены экспериментально в лабораторных условиях.

Если жизнь началась с РНК, то в какой обстановке это произошло?

Водная среда неблагоприятна, поскольку РНК быстро разлагается в воде. Однако если подобные РНК полимеры образуются на поверхности кристаллов, они становятся более устойчивыми к действию воды. В связи с этим возникли две гипотезы, отводящие твердым кристаллам решающую роль в происхождении живого вещества.

1. Гипотеза А. Кернс-Смита: глинистые образования могли приобрести способность адсорбировать или синтезировать на своей поверхности органические соединения — белки и нуклеиновые кислоты. В дальнейшем эти соединения могли начать самостоятельно воспроизводиться и эволюционировать.

2. Гипотеза Г. Вехтершойзера: кристаллы пирита способны катализировать синтез.

С открытием в конце 70-х г. XX в. гидротерм на дне океанов и богатой органической жизни в зоне их влияния возникла *гипотеза о зарождении жизни вокруг подводных гидротерм*. Археобактерии выдерживают температуру до 120°C, а ряд их видов предпочитает лишенные кислорода места обитания с высокой кислотностью и содержанием сернистых соединений.

Таким образом, получается, что диапазон физико-географических обстановок, в которых могли появиться

на Земле первые живые организмы, достаточно велик — от наземных условий с восстановительной или нейтральной атмосферой через прибрежную, приливно-отливную зону с ее теплыми водами до относительно глубоководной обстановки с горячими гидротермами.

С.Кауфман (США) математически показал, что достаточно сложная группа полимеров способна к репликации как целое, даже если отдельные полимеры к этому не способны. Но для этого некоторые полимеры должны быть способны катализировать простые реакции, например делить полимер надвое или соединять два полимера в один.

3. Гипотеза самоорганизации макромолекул. Эта гипотеза развивается последние два десятилетия благодаря применению к проблеме возникновения жизни теории самоорганизующихся макромолекул. М.Эйгеном было установлено, что нелинейные автокаталитические цепи (гиперциклы) обладают рядом уникальных свойств, порождающих «дарвиновское поведение» системы. Гиперцикл конкурирует с любой самовоспроизводящейся единицей, не являющейся ее членом. Состоя из самостоятельных самовоспроизводящихся единиц, он объединяет эти единицы в систему, способную к согласованной эволюции, где преимущества одного индивида могут использоваться всеми ее членами (Еськов, 2000). В результате М.Эйген и П.Шустер моделируют эволюцию от макромолекул до живой клетки следующим образом (рис. 4.1).

Глава 5. Эволюционный процесс

Эволюция органического мира — это процесс исторического развития от древнейших до современных и будущих форм жизни. Сущность этого процесса состоит как в непрерывном приспособлении живого к разнообразным и постоянно меняющимся условиям окружающей среды, так и в появлении все более сложно организованных форм. В ходе эволюционного процесса осуществляется а) преобразование видов, б) происхождение новых видов, в) вымирание видов. Так как виды составляют более крупные таксоны, то это справедливо и для надвидовых категорий.

Эволюционная идея в биологии является одним из древнейших крупных научных обобщений. Зачатки этой идеи прослеживаются уже у античных философов. Формирование идеи началось в конце 18 в., но в целостном виде эволюционная концепция была сформулирована в начале 19 в. французским естествоиспытателем Ж.-Б. Ламарком в его труде «Философия зоологии». В этой книге он обосновывает изменчивость видов и сам факт эволюционного процесса. Движущей силой эволюционного процесса Ламарк считал присущее организмам «стремление к совершенству», приспособление к среде под прямым воздействием ее факторов. Дальнейшее развитие эволюционной идеи показало неверность этого вывода.

В настоящее время можно видеть значительное разнообразие мнений относительно самого эволюционного процесса, его движущих сил и механизмов и т.д.

Наиболее распространенная из современных теорий эволюции представляет собой результат синтеза соответствующих разделов экологии, генетики, молекулярной биологии и других наук. В ее основе лежит *классическая эволюционная теория Дарвина—Уоллеса.*

Она базируется на *механизме естественного отбора* как основного фактора эволюционного процесса. В качестве других факторов выступают наследственность и изменчивость, мутагенез, дрейф генов и др. Единый эволюционный процесс обычно рассматривают в составе двух: микроэволюции и макроэволюции. Комплекс приводящих к эволюционным изменениям процессов, протекающих на популяционном и внутривидовом уровнях — *микроэволюция*, на надвидовом уровне — *макроэволюция*.

Для понимания эволюционных процессов большое значение имеют представления о **популяции**.

Популяция — это пространственно-временная группа скрещивающихся между собой особей одного вида. Непрерывность популяции во времени обеспечивается связью родителей с потомками. Пространственное единство популяции обеспечивается скрещиванием особей из разных ее частей. Численность популяции может меняться. Популяции могут возникать, вымирать, объединяться или разделяться. Эти изменения являются *элементарными эволюционными процессами*. Таким образом, популяция — элементарная структура, способная к эволюционным изменениям. Распределение особей в популяции неравномерно, так как условия обитания в ее пределах неоднородны.

Английский ученый К.Пирсон в 1904 г. установил так называемый **закон стабилизирующего скрещивания (закон Пирсона)**. Он гласит: *в условиях свободного скрещивания при любом исходном соотношении численности гомозиготных и гетерозиготных родительских форм уже в первом потомственном поколении в пределах популяции устанавливается равновесие, если частоты аллелей одинаковы у обоих полов*. Таким образом, какова бы ни была

генотипическая структура популяции, в первом поколении устанавливается закономерное равновесие.

Английский математик Дж. Харди и немецкий врач В. Вайнберг описали математически поведение в популяции двух аллелей А и а, имеющих произвольные частоты р и q. Скрещивание выразилось:

$$(pA + qa) \times (pA + qa).$$

Частоты трех возможных генотипов, полученных из такого скрещивания, выражаются уравнением:

$$\text{частоты} - (p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2,$$

$$\text{генотипы} - A \ a \ AA \ Aa \ aa;$$

которое можно представить в виде:

$$p^2AA + 2pqAa + q^2aa = 1$$

Таким образом, **закон Харди-Вайнберга** гласит, что *частота гомозиготных и гетерозиготных организмов в условиях: 1) свободного скрещивания, 2) при отсутствии давления отбора и других факторов (мутационного процесса, миграции, дрейфа генов и т.д.), остается постоянной.* Закон справедлив без действия естественного отбора, то есть для модельной, «идеальной» популяции. Важными закономерностями являются также возрастные диаграммы, показывающие частоту встречаемости в популяции особей того или иного возраста и показывающие тем самым стадию развития популяции. Например, устойчивое увеличение частоты встречаемости старых особей и одновременное уменьшение частоты встречаемости молодых особей — характерный показатель «пути» популяции к вымиранию.

Отбор

Принцип естественного отбора сформулирован Ч. Дарвином, который рассматривал его как результат взаимодействия организмов между собой и с внешней средой и как движущую силу эволюционного процесса. На возникновение этой идеи у Дарвина, согласно

его автобиографии, повлияло знакомство с известной книгой Г.Мальтуса и проведение аналогии с органическим миром.

В самом деле, существует резкое несоответствие масштабов теоретического и практического роста числа особей любого вида, что является следствием ограниченности пищевых ресурсов и других характеристик среды. Дарвин приводит в качестве примера самых медленно размножающихся животных — слонов, численность которых от одной пары должна через 750 лет составить 19 миллионов особей. Пресноводный рачок дафния за одно лето способен теоретически произвести более 10^{30} особей. Масса этого живого вещества больше массы земного шара.

Практически рост численности организмов, помещенных в благоприятные условия, соответствует, как правило, одной из моделей — численность со временем либо стабилизируется, либо катастрофически падает, например вследствие подрыва пищевых ресурсов.

Несоответствие теоретически бесконечного роста численности реальным возможностям порождает, по Дарвину, борьбу за существование и, следовательно, естественный отбор. Он может осуществляться как путем непосредственной конкуренции, например за пищевые ресурсы, так и без непосредственной конкуренции, например вследствие действия неблагоприятных факторов среды.

Естественный отбор — результат борьбы за существование, основанный на преимущественном выживании и оставлении потомства наиболее приспособленными особями каждого вида и гибели менее приспособленных. Действие естественного отбора доказывается экспериментально при аннулировании действия других факторов: мутационного процесса, дрейфа генов и т.д.

Выделяют три основные формы отбора. Движущий отбор — это отбор в пользу особей с уклоняющимся от ранее установившегося в популяции значения признака. Стабилизирующий отбор (впервые был описан И.И.Шмальгаузен) постоянно исключает особей, уклоняющихся от нормы. Благоприятствует сохранению особей со значениями признаков, близкими к средним. Дизруптивный (разрывающий) отбор благоприятствует более чем одному фенотипическому оптимуму и действует против промежуточных форм.

Основу макроэволюционного процесса **составляет видообразование и вымирание видов.**

Вид является основной таксономической категорией. Существует несколько различных определений вида, возникших при его рассмотрении с различных точек зрения.

Наиболее часто приводят определение, гласящее, что *вид* — это реальная, исторически сложившаяся, пространственно и репродуктивно изолированная, динамичная, но необратимая система популяций. Тогда *подвидом* можно назвать группу популяций одного вида, эколого-географически или хронологически изолированную и морфологически отличную от других аналогичных групп того же вида.

Популяции и виды могут занимать изолированные области (аллопатрические популяции и виды) или перекрывающиеся друг друга области (симпатрические популяции и виды). В первом случае формируются поселения так называемых *эндемичных (реликтовых)* форм, характерных исключительно для данной территории, во втором — *космополитов*, обитающих в пределах крупной части или всего земного шара. Географическая изоляция или разделение ареалов способствует появлению уклоняющихся по отдельным признакам осо-

бей, которые могут дать начало новому подвиду, а затем и виду. Так происходит географическое видообразование путем дивергенции.

Выделяют соответственно аллопатрическое и симпатрическое видообразования. Первое основано на пространственной изоляции, второе — на изоляции популяций в пределах одной территории (например экологической изоляции).

Основные эволюционные концепции

Сегодня мы являемся свидетелями большого разнообразия взглядов на различные проблемы эволюционного процесса. В то же время все эти разнообразные мнения можно свести к нескольким системам взглядов — эволюционным концепциям. Попробуем сравнить три системы взглядов (по А.Лима де Фариа, 1991, Таблица 6.1, упрощенно, с изменениями).

Таблица 5.1

<i>Неодарвинизм</i>	<i>Концепция автоэволюции</i>	<i>Концепция эволюции без отбора (по А.Лима де Фариа, 1991)</i>
Сконцентрирован на динамике популяций и видообразовании	Критикует неодарвинизм за то, что он оценивает последствия, а не причины эволюционного процесса, что неверно	Анализ видов и популяций не может вскрыть причины эволюции. Надо начинать с изучения формы и функции, возникших вместе с первичным формированием вещества
Основным фактором эволюционного процесса является естественный отбор	Отбор оказывает подчиненное влияние на эволюционный процесс	Отбора не существует, это не материальный компонент и не может быть механизмом процесса
Мутации случайны	Мутации закономерны	Мутации направляются молекулярными ограничениями на уровне нуклеиновых кислот и белков. Мутационный процесс «канализирован»

Автономных процессов типа «автоэволюции» не рассматривается	Автоэволюция возможна благодаря тому, что способность эволюционировать заложена в первичной материи	Автоэволюция принимается
Форма возникает в результате действия отбора	Форма заложена в материи от предшествующих уровней ее организации	Форма заложена в материи от предыдущих уровней ее организации
Функция возникает в процессе отбора	Функция может возникнуть только из функции; каждый химический элемент имеет свою изначальную функцию	Функция может возникать только из функции
Биологическая эволюция ведет к созданию прежде не существовавших форм жизни	На биологическом уровне не возникает ничего нового. Каждый уровень вносит новшества только путем комбинирования старого	Элементарные частицы создают новые формы путем комбинирования
Роль генов в эволюционном процессе чрезвычайно важна	Ген играет второстепенную роль	Ген появился на поздних стадиях эволюции клетки; до этого форма и функция определялись физико-химическими и минералогическими закономерностями
Хромосома имеет важнейшее значение	Хромосома играет второстепенную роль	Хромосома появилась еще позднее, чем ген
Эволюция генов и хромосом не имеет физико-химических ограничений	Генетический аппарат жестко канализирован	Между белком, ДНК и РНК установлен замкнутый цикл взаимозависимости, так как ни одно из этих соединений не может образоваться без участия другого
Могут существовать клетки, организмы и признаки любого типа	Возможно возникновение клеточных органелл, клеток и организмов только некоторых определенных типов	Число различных клеточных типов у человека около 260, а число типов животных только 26, значит, возникают только определенные типы
Сообщества формируются под действием отбора, дрейфа генов и т.д.	Сообщества образуются путем «самосборки» организмов	Образование сообществ регулируется химической информацией, которой обмениваются особи
Вымирание видов событие в основном незакономерного характера	Вымирание видов обусловлено «видовыми часами» или какими-либо другими механизмами	Есть «часы» на всех уровнях биологической организации, в том числе и у видов
Организм находится во власти среды	В процессе эволюции возрастает противодействие среде	Смысл взаимосвязи организма и среды в их противодействии

Примечание: Автономных процессов типа «автоэволюции» не рассматривается

Филогения организмов

Каждый вид организмов, как и отдельная особь, имеет своего предка — предковый вид. Построения, основанные на родстве, носят название *филогенетических*. Они являются важной частью исследований при изучении любой группы организмов.

Приведем основные принципы филогении и филогенетической систематики, которыми приходится пользоваться исследователю при изучении конкретной группы организмов (по В.Е.Руженцеву, 1953).

Принцип гомологии. Уже при визуальном рассмотрении представителей органического мира, порой даже далеко родственно отстоящих друг от друга, нетрудно заметить черты их сходства. Специалисты выделяют целый ряд различных типов сходства (Таблица 6.2), свидетельствующих, что очень важно, о различной степени родства организмов.

Эти типы, кроме истинного сходства, связаны с явлениями *конвергенции* и *параллелизма*. Истинный генетический ряд может быть установлен лишь на основании сходства, обусловленного прямой гомологией. Остальные типы сходства могут давать лишь «неопределенно-генетические», морфологические ряды.

Хронологический принцип. Восстановление филогенетических рядов возможно лишь при строжайшем учете хронологической последовательности форм, то есть последовательности смен их друг другом во времени.

Принцип (презумпция) актуализма. Это общенаучный принцип, гласящий, что «настоящее есть ключ к познанию прошлого». В данном случае подразумевается, что для изучения связей какой-либо группы в прошлом необходимо исследовать связи их современных представителей.

Принцип основного звена. Признаки организмов резко различаются по своей «ценности» для систематиче-

ских построений. Понятие «основное звено» предложено В.Е.Руженцевым — «преобладающая на данном этапе развития форма качественно новых физиологических и соответствующих им морфологических изменений». Задача исследователя состоит в том, чтобы среди многих особенностей суметь выделить ту, которая является основной в развитии группы на данном этапе, наиболее отражает специфичность группы и ее неразрывную связь с уровнями жизни, а также обуславливает возможность и перспективу дальнейшего развития представителей группы.

Онтогенетический принцип. Согласно биогенетическому закону онтогенез в общих чертах повторяет филогенез. Это значит, что, изучая особи на разных стадиях онтогенетического развития, возможно восстановить родство таксономической группы. Следует всегда помнить об общности этого принципа.

Хорологический принцип. Основан на комплексном анализе экологической и географической изменчивости и изоляции, в результате которых возможно возникновение новых групп организмов.

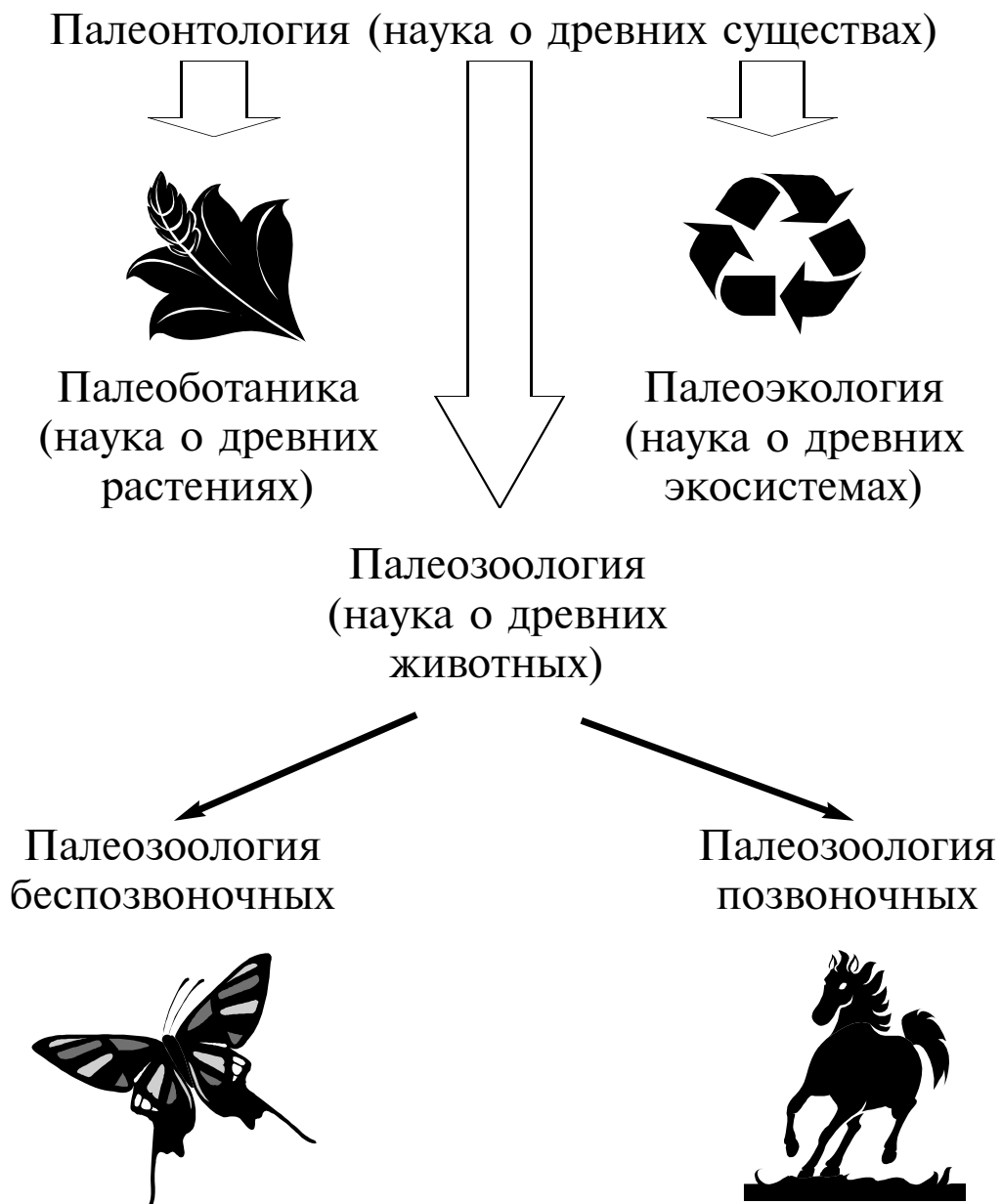
Таблица 5.2

ТИПЫ СХОДСТВ				
экологическое сходство		генетическое сходство		
		гомеоморфия		
сходство аналогичных органов в силу сходных условий среды — <i>ложное сходство</i> Шиманского, 1954	сходство гомологичных органов в силу сходных условий среды (не захватывает всех систем органов) — <i>относительное сходство</i>	сходство в близких параллельных эволюционных ветвях в силу генетического родства (может захватывать весь организм — <i>параморфия</i>	сходство всех органов в силу родства в одной эволюционной ветви, но у форм непосредственно генетически не связанных — <i>монорморфия</i>	истинное сходство

Глава 6. Документы геологической летописи

6.1. Палеонтология и фоссилии

Наука, изучающая вымершие доисторические организмы, называется палеонтологией, что в переводе с греческого означает: «палайос» — древний, «онтос» — существо, «логос» — изучаю. Палеонтология объединяет ряд наук: палеозоологию позвоночных и беспозвоночных, палеоботанику и палеоэкологию. В этом разделе описание приведено конспективно в виде схем.



Объект изучения палеонтологии — окаменелости (или фоссилии). Фоссилии — это остатки или следы организмов, живших в прошлые геологические времена и погребенных в отложениях, которые накапливались во внешнем чехле Земли, то есть в земной коре (Фентон, Фентон, 1977).



Классификация фоссилий по размеру:

Макрофоссилии (> 1 мм)

Микрофоссилии (0,1 — 0,01 мм)

Нанофоссилии (< 0,01 мм)

Как образуются фоссилии (Фентон, Фентон, 1977)?

1. *Замораживание.* Идеальными фоссилиями считаются те, которые оказались замороженными после смерти с минимальными повреждениями. Знаменитые мамонты Сибири и Аляски являются примерами такого способа захоронения. Широко известен найденный в 1977 г. в районе Магадана мамонтенок «Дима», который хранится в Зоологическом музее Санкт-Петербурга.

2. *Высушивание.* Следующими по качеству после замороженных фоссилий являются те, которые полностью высушены, то есть мумифицированы.

3. *Битуминизация.* Естественный парафин, асфальт и озокерит такие же хорошие консерванты, как и лед.

4. *Простое погребение.* Остатки растений и известковых раковин часто лежат долгое время без больших изменений. Например, послеледниковые торфяники содержат почти неизменные шишки, стволы, стебли и пыльцевые зерна, которые накопились в болотах.

5. *Обугливание.* Это процесс неполного разрушения, при котором исчезают нестойкие компоненты, но

не затрагивается углистая составляющая. Остатки растений в торфяниках несут следы ранней стадии обугливания. В исключительных случаях обугливание приводит к замещению первичного состава растений и животных блестящими черными пленками, которые тоньше, чем папиросная бумага.

6. *Окаменение* (петрификация) и *замещение*. Эти процессы, приводящие к «каменистым» фосс依лиям, протекают двумя сходными путями. Простейший из них, названный перминерализацией, заключается в том, что органика разрушается, а вода, содержащая минеральные компоненты, заполняет все полости и поры известковых структур. Там и отлагаются минералы, создавая каменные фосс依лии, которые сохраняют большую часть своего первичного «твердого» материала. *Большинство фосс依лий захоронились именно таким способом.*

Процесс замещения заключается в том, что вода растворяет первичные твердые части и замещает их другими минеральными компонентами. Это полностью дублирует микроструктуру раковины, дерева или кости, либо не остается и следа первичной структуры.

Виды фосс依лий (Михайлова, Бондаренко, 1997):

1. Субфосс依лии (скелет + мягкие ткани = ископаемые хорошей сохранности). Например, мамонт из вечной мерзлоты.

2. Эуфосс依лии (скелет, его фрагменты, отпечатки*, ядра).

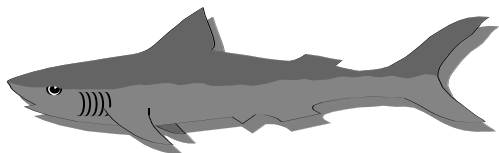
3. Ихнофосс依лии (следы жизнедеятельности). Например, следы динозавров.

4. Копрофосс依лии (продукты жизнедеятельности) — окаменевшие экскременты организмов.

5. Хемофосс依лии (органические ископаемые) — биомолекулы.

6. Псевдофоссилии (лжефоссилии) – минералы, горные породы и их фрагменты, ошибочно принимаемые за окаменелости.

* *Отпечаток.* На рисунке ему соответствует серая теневая область за телом акулы.



Возьмем на пляже современную морскую или речную раковину моллюска – гастроподу (улитку). Если мы заполним ее изнутри песком, и затем разобьем раковину, то получится *внутреннее ядро*. Если ракушку улитки закопать в песок, то сформируется *внешнее ядро*.

Какие минералы замещают живую ткань и скелет фоссилии?

Кальцит, фосфорит, гипс, кремний (опал, халцедон).

В каких породах и минеральных агрегатах в основном находят фоссилии?

В осадочных породах. В песках и песчаниках, конгломератах и брекчиях, мергелях и известняках, в каменном угле, торфе и янтаре. Фоссилии четвертичного периода встречаются также в почве и во льду.

Особенности формирования толщ осадков и их последующего превращения в осадочные породы, захоронения, перезахоронения и разрушения фоссилий будут рассмотрены ниже.

6.2. Особенности осадконакопления

6.2.1. Преобразование осадка в породу

Осадки в морских бассейнах. Их источники

В морских бассейнах осадки могут образовываться за счет (рис. 6.1):

1. Накопления раковин и других частей скелета морских организмов после их смерти.

2. Поступления обломочного материала (например, транспортирования песка с суши в море реками (2а) и ветром (2б), транспортировки песка течениями (2в)).

3. Химического осаждения солей из морской воды при ее выпаривании в условиях аридного климата (накопление доломитов и солей в лагунах).

4. Вулканизма морского и континентального (в последнем случае вулканические массы должны находиться вблизи морского бассейна).

5. Подмыва берега (абразии).

6. Прочих источников, например метеоритов.

Для геологических разрезов Подмосковья характерны первые три типа поступления осадков в морской бассейн.

6.2.2. Накопление и ненакопление осадков

При опускании частиц осадка на дно морского бассейна они накапливаются, образуя слои, которые постепенно увеличиваются в вертикальном направлении (рис. 6.2). Так же происходит при падении снега: чем его больше, тем больше снежный покров.

Если при опускании частиц осадка сильные донные течения сносят его в сторону, то накопления осадка в данном месте происходить не будет (рис 6.3). Ана-

логичная ситуация имеет место при сносе в какую-либо сторону вертикально падающего снега.

При неблагоприятных условиях (например, химически агрессивная вода растворяет поступающий в нее осадок еще до того, как он опустится на дно) не происходит их накопления. При опускании снега на прогретую поверхность (например, на прогретый участок земной поверхности, под которым проходят трубы с горячей водой) происходит мгновенное таяние и его накопления не происходит. Важно подчеркнуть, что отсутствие покрова осадков может быть вызвано неблагоприятными условиями для его накопления, но выпадение осадка имело место (рис. 6.4).

Если осадка нет, то ничего и не накапливается (рис. 6.5). Это называется перерывом в осадконакоплении.

Отметим, что различные обстановки накопления и не-накопления осадков могут накладываться друг на друга.

6.2.3. Превращение осадка в породу

При накоплении больших масс осадков в морских бассейнах из нижних слоев начинается постепенное отжимание воды, они сдавливаются под весом вышележащих осадков.

Далее в результате сложных геологических, физико-химических, биологических преобразований осадок превращается в горную породу (рис. 6.6).

6.3. Породы и осадки в морских бассейнах

6.3.1. Взаимоотношение пород и осадков

Осадки формируются в морских бассейнах, превращаются в горные породы. Породы разрушаются, превращаются в мелкие частицы, которые снова служат источником накопления осадков и преобразованием их в горные породы. Таким образом, существует круговорот: порода — осадок — порода.

Например, волновое воздействие моря приводит к разрушению скальных массивов берега и их превращению в гальку и песок, которые потом превращаются в породы: песчаники и галечники (рис. 6.10).

6.3.2. Размыв накопившихся осадков и разрушение (перемыв) горных пород в морских бассейнах

Допустим, что сначала в морском бассейне были благоприятные условия для накопления осадков, которые превращались в горные породы (рис. 6.11).

Затем осадки перестали накапливаться (рис. 6.15), происходит размывание осадков донными течениями (рис. 6.16), наконец, осадки полностью смыты и обнажены породы (рис. 6.17).

Далее происходит разрушение горных пород — расчленение их ходами и норками морских беспозвоночных животных (камнеточцев, ракообразных (рис. 6.18)).

Поверхность породы приобретает «изъеденный» вид (рис. 6.19), затем происходит отрыв кусков породы от всего блока, подвергнувшегося разрушению (рис. 6.20), их перекачивание по дну морскими донными течениями, в результате чего они приобретают округлую форму (рис. 6.20). Разрушение породы в подводных условиях называется перемыв.

В любой момент процессы размыва и перемыва могут прекратиться и осадки могут начать вновь накапливаться и преобразовываться в породы. С процессами ненакопления осадков и разрушением горных пород, с размывом осадков связан процесс конденсации.

6.3.3. Конденсация и перемыв

Допустим, имеется многослойная толща осадков, лежащая на толще пород. Процессы осадконакопления приостановлены и наступает перерыв в осадконакопле-

нии. Разновозрастные слои осадков и пород содержат остатки фауны морских позвоночных и беспозвоночных животных, которые жили в разное время: внизу разреза находятся самые древние слои с древними животными, в верхней части — молодые слои с животными, которые жили уже после смерти их древних сородичей.

Слои осадков и пород содержат конкреции, крупные раковины морских беспозвоночных — тяжелые компоненты и мелкие раковины, обломки крупных раковин — легкие компоненты.

При размыве (смыве) осадков и перемыве пород легкие компоненты ввиду их малого веса и размера растворяются (если морская вода становится агрессивной по отношению к ним) и сносятся течением с места их первичного отложения, растворить или унести тяжелые компоненты осадка или породы гораздо труднее, поэтому тяжелые компоненты, как правило, остаются на месте без перемещения, в то время как легкие компоненты перемещаются и мы не видим их на том месте, где они были раньше. Итак, происходит «сгруживание» тяжелых компонент разновозрастных осадков и пород на один уровень, в один слой — уровень, слой перемыва. Получается, что в одном слое находятся остатки животных, которые жили и умирали в разное время.

Чем дальше вниз продвинулся фронт размыва, перемыва, тем больше слоев уничтожено и больше разновозрастных остатков в слое перемыва.

В любой момент осадки могут начинать поступать и откладываться. Тогда процесс перемыва прекращается. Потом он может начаться снова и сконденсировать все осадки и породы в один слой. Более того, возможно, произойдет перемыв более древнего горизонта, слоя перемыва, и, следовательно, этот слой будет перемыт во второй раз. При каждом этапе перемыва происходит механическое разрушение и перемещение компонент

осадка и породы, также происходит химическое растворение и биологическое разрушение компонент, следовательно, лишь небольшая часть компонент осадка, породы сохраняется, «выживает». При перемыве мощность разреза (высота, расстояние по вертикали от подошвы до кровли разреза) уменьшается. Итак, если имеется горизонт перемыва с небольшим количеством раковин ископаемых животных, то логично предположить, что раковин было гораздо больше, чем мы видим сейчас, но они просто были уничтожены так же, как и мощность первоначального разреза.

Конденсация и перемыв различаются тем, что при конденсации не нарушается стратиграфическая последовательность, в горизонте конденсации встречаются компоненты из разных слоев, но нет такой разницы в возрасте, как при перемыве.

6.4. Палеогеографические реконструкции

6.4.1. Вводная часть

Палеогеографические реконструкции, а также многие связанные с ними аспекты будут рассматриваться на примере морских отложений. Во-первых, на территории Московской области в пределах Московской синеклизы они преобладают, во-вторых, интерпретация палеоморских обстановок проще, чем континентальных.

Палеогеографические выводы основаны на изучении сред обитания ископаемых форм фауны и флоры (изучение их современных аналогов), анализе условий формирования пород, включающих в себя фоссилии (изучение условий формирования пород сейчас).

Также надо отметить, что возможно изменение пород и переход одних пород в другие (превращение известняка в доломит) под воздействием факторов сре-

ды (подземные воды, например). Вместе с этим имеет место растворение, конденсация, разрушение фоссилий.

Смена пород в разрезе — смена обстановок накопления осадка, смена условий обитания фауны и флоры — смена условий окружающей среды (температура, глубина, соленость морского бассейна).

Изменение направлений, силы палеотечений в придонных и приповерхностных частях морских бассейнов приводило к смене биотопов и, в меньшей степени, к перемене режима осадконакопления, следовательно, к перемене пород в разрезе.

Восстановление палеоглубин — наиболее сложная задача. Данные о палеотемпературе и палеосолености получить проще, анализируя эти параметры у современных аналогов фоссилий. Говоря о палеоглубинах, надо отметить, что некоторые формы могли обитать в широком интервале глубин (головоногие моллюски, рыбы, водные рептилии и млекопитающие), а в разрезе, например, не было встречено форм с фиксированными глубинами обитания (они просто не сохранились), следовательно, в таком случае будет сложно делать какие-либо выводы.

Остатки фоссилий с известными глубинами обитания могли быть транспортированы течениями в более глубокие участки дна бассейна и захоронены там. Если не учесть это, то данные по палеоглубинам в данном месте разреза окажутся завышенными. Например, нахождение остатков пелеципод в наши дни на глубинах в 4–5 км на удалении в тысячи километров от суши и, следовательно, береговой линии в глубоководных районах Тихого океана не свидетельствует о том, что пелециподы обитали тут, а является следствием мощного переноса и захоронения в глубоководных отложениях.

В некоторых разрезах глинистых отложений можно встретить «угнетенный» комплекс фауны — мало-

численные, малоразмерные особи небольшого количества видов. Некоторые исследователи могут подумать о факторе большой глубины, который оказывал влияние на биокомплекс, подавляя его. Однако это может явиться результатом нарушения кислородного режима в данном участке бассейна в результате образования участка с «застойными» водами в западинах рельефа дна, куда не проникают течения. Следствием этого является сероводородное заражение с образованием в накапливающихся осадках серосодержащих соединений (пиритизированные раковины фоссиллий, рассеянный пирит в породе). Сейчас такая обстановка наблюдается в различных бассейнах, например в некоторых участках Черного моря. Предположительно такова природа оксфордских глин в разрезе Лопатинских фосфоритных рудников. Еще раз отметим, что в этом случае глубина не играет роли, все зависит от рельефа дна, см. рис. 6.30.

Интересен также палеокарст, выявляемый по разнице в возрасте между породами стенок карстовой структуры и выполняющей карстовую полость породой.

6.4.2. Палеогеографические реконструкции на примере разреза в карьере «Пески-1»

Далее предлагается поэтапная реконструкция палеогеографических обстановок на примере одного из подмосковных карьеров.

При «расшифровке» каменной летописи будут фигурировать понятия «перерыв», «конденсация» и другие, рассмотренные выше.

Обращает на себя внимание неоднозначность выводов. Например, на этапе 1 (рис. 6.33) лагунная обстановка следует из присутствия в разрезе доломитов и доломитизированных известняков. Однако это действительно будет так, если доломиты первичны, то есть

накопились осадки, образовались доломиты. Бывает, что после образования известняков происходит их вторичная доломитизация, и в разрезе на месте известняков мы видим доломиты, хотя накапливались и образовывались известняки. Известняки формируются в условиях мелководных и крайне мелководных морских бассейнов нормальной солености. Доломиты же характерны для лагун, как правило, с повышенной соленостью. Соответственно, не разобравшись с происхождением пород, какие первичны, какие вторичны, нельзя разобраться точно с палеогеографическими зонами. В случае с доломитами разреза карьера «Пески-1» существуют различные взгляды на их происхождение. Ниже рассматривается вариант их первичности, хотя это спорный вопрос.

Неоднозначность проявляется при объяснении смены пород на различных этапах истории разреза. Это может быть объяснено конденсацией или изменением глубины бассейна (этап 3, рис. 6.35). Что в действительности имело место – спорный вопрос.

Еще раз отметим, что выводы о климате, ландшафте – сложная задача.

Блок-диаграмма

На данной блок-диаграмме (рис. 6.31) изображен морской бассейн (кроме его глубоководной части) и участок суши. Возможно выделение четырех зон (1 – 4), для которых характерны свои особенности рельефа, свои значения параметров глубины, солености. Следовательно, для каждой зоны будут накапливаться свои представители флоры и фауны (фоссилии), свои типы осадков, преобразующихся затем в породы.

На нижеследующих таблицах палеореконструкций в нижней части листа будет расположена шкала с четырьмя делениями. Она символизирует блок-диаграм-

му, четыре части шкалы эквивалентны зонам на блок-диаграмме.

Поэтапная палеогеографическая реконструкция на примере разреза в карьере «Пески-1»

Этап 1 (рис. 6.33)

«Кремовые» известняки и доломиты с зубами акул и скатов и бедным комплексом беспозвоночных указывают на лагунную обстановку (повышенная соленость, полузамкнутый бассейн).

Этап 2 (рис. 6.34)

Известняки и мергели с богатым комплексом ископаемой фауны свидетельствуют о крайне мелководном морском бассейне с нормальной соленостью.

Этап 3 (рис. 6.35)

Возможны два варианта интерпретации.

А. Голубые и зеленоватые мергели и глины с менее богатым (чем на этапе 2) комплексом фауны. Мелководный бассейн.

Б. Обращает на себя внимание «плитчатый» облик пород: чередование глинистых известняков с глинистыми прослоями, переполненными фауной. Возможно формирование горизонтов конденсации (глины) в результате растворения пластов известняка во время перерыва в осадконакоплении.

Смена пород с этапа 2 на этап 3 не связана с изменением палеоглубин, а обусловлена вариациями в режиме поступления осадков.

Этап 4 (рис. 6.36)

Смена условий на континентальные. Отступление моря, поднятие территории.

Этап 5 (рис. 6.37)

Разрушение пород в континентальных условиях. Образование карстовых воронок и полостей, заполнение их глиной. В северо-западной части карьера встречена карстовая воронка с остатками рыб, черепах, про-

чих рептилий предположительно ранне—среднеюрского возраста.

Этап 6 (рис. 6.38)

Глины с конкрециями известкового оолитового мергеля с богатым комплексом фауны беспозвоночных являются результатом накопления осадков в крайне мелководном морском открытом бассейне с глубинами в первые десятки метров.

Глава 7. Биосфера и ноосфера

Общий геохимический круговорот связывает каждый биоценоз с так называемыми биокосными и косными компонентами ландшафта. Такая взаимосвязанная система более сложна, чем биоценоз, за счет включения в нее геологических объектов и носит название *биогеоценоза*. Биогеоценозы в совокупности составляют *биосферу*, наиболее сложную экосистему планетарного масштаба.

Само слово «биосфера» имеет длительную историю. Оно вошло в научную терминологию в некоторой степени случайно. Более ста двадцати лет назад австрийский геолог Э.Зюсс написал книгу о происхождении гор Альп, где в последней главе прозвучало впервые слово биосфера. Однако это понятие тогда не было замечено и не сыграло заметной роли в научной мысли вплоть до появления работ русского естествоиспытателя В.И.Вернадского, который опубликовал в 1926 году две лекции, положившие начало развитию учения о биосфере с более близким к сегодняшнему толкованием этого термина. Сам же В.И.Вернадский отмечал, что до него к понятию биосферы подошел еще Ж.Б.Ламарк, не вскрывший его глубокого смысла.

В настоящее время существует несколько вариантов определения термина «биосфера», которые различаются между собой в основном различной интерпретацией «объема» биосферы. Мы будем принимать следующее, наиболее распространенное. *Биосфера* (греч. *bios* — жизнь; *sphaera* — мяч, шар) — оболочка земли, охватывающая атмосферу до высоты озонового экрана (20–25 км), верхнюю часть литосферы и всю гидросферу и являющаяся ареной жизни. Ее состав, строение и энергетика определяются совокупной деятельностью живых организмов. Основным источником биогеохими-

ческой активности организмов и, следовательно, основной энергетикой биосферы является солнечная энергия.

Современная биосфера представляет собой геологически мгновенный срез продолжительно существующей и развивающейся *пан-биосферы* – совокупности былых биосфер (термин предложен Б.С.Соколовым в 1981 г.).

Основные принципы развития биосферы.

В процессе развития биосферы прослеживаются следующие тенденции (по Колчинскому, 1988).

1. Постепенное увеличение общей биомассы и биопродуктивности.

2. Прогрессивное накопление аккумулированной солнечной энергии в поверхностных оболочках Земли.

3. Увеличение информационной емкости биосферы, проявляющееся: а) в росте разнообразия органических форм, б) в увеличении числа геохимических барьеров и в) в возрастании дифференцированности физико-географической структуры биосферы.

4. Усиление некоторых биогеохимических функций живого вещества и появление новых функций.

5. Усиление преобразующего воздействия жизни на атмосферу, гидросферу и литосферу и увеличение роли живого вещества и продуктов его жизнедеятельности в геологических, геохимических и физико-географических процессах.

6. Расширение сферы действия биотического круговорота и усложнение его структуры.

7. Так как все эволюционирующие системы не бессмертны, имеют «начало» и «конец» своего существования, то возможны как «восходящие», так и «нисходящие» тенденции в развитии биосферы.

Эти тенденции можно рассматривать в качестве «правил» развития биосферы. Назовем также некото-

рые дополнительные принципы (по Н.Ф.Реймерсу, 1994).

1. *Экоисторический принцип*. Геологические (в широком понимании) процессы и явления не оставались неизменными во времени, поэтому процессы прошлого нельзя полностью отождествлять с современными (особенно в количественном выражении).

2. *Закон глобального замыкания биогеохимического круговорота*. В ходе эволюции биосферы доля биологического компонента в замыкании биогеохимического круговорота веществ направленно возрастает.

3. *Закон саморазвития биологических систем (закон Э.Бауэра, 1935)*. Развитие биологических систем есть результат увеличения их внешней работы — воздействия этих систем на окружающую среду.

4. *Принцип катастрофического толчка*. Природная или природно-антропогенная катастрофа всегда приводит к существенным перестройкам, которые адаптируют ее к новым условиям среды.

5. *Принцип непрерывности и прерывистости развития биосферы*. Процесс медленного эволюционного изменения закономерно прерывается фазами бурного развития и быстрого вымирания.

Эволюцию биосферы принято рассматривать с позиций этапности. Этап — часть пути, чем-либо отличающаяся от предыдущей и последующей частей. Эти этапы в той или иной степени согласуются по времени с геохронологическими подразделениями, то есть с этапами развития Земли как планеты в целом.

Последним этапом, продолжающимся и сегодня, является этап возникновения и развития *ноосферы* — сферы разума (греч. *noos* — разум; *sphaera* — шар). Основной отличительной чертой этого этапа является зарождение и развитие *научной мысли* и, как следствие этого, познание окружающего нас мира и изменение его человеком

как частью биосферы. Именно поэтому В.И.Вернадский впервые предложил рассматривать научную мысль и научную работу как геологическую силу.

Понятие ноосфера введено французским математиком Э.Леруа (1927) и П.Тейяром де Шарденом (1930), учение о ноосфере развито В.И.Вернадским, в частности в его работе «Несколько слов о ноосфере» (1944). Появились также сходные по значению и(или) подчиненные понятия: антропосфера, психосфера, техносфера и др.

В ноосфере разумная человеческая деятельность становится новым фактором эволюции планеты. Познание и деятельность человека с течением времени распространяются от поверхности в глубины Земли (сфера изучения экологической геологии, экологической геофизики) и вверх за пределы планеты. Таким образом, ноосфера превращается из оболочки планеты в элемент Космоса. В пределах Земли человек все более интенсивно взаимодействует со всеми планетарными оболочками, все сильнее преобразуя их, влияя на ход природных процессов, создавая новые объекты, процессы и явления.

В качестве основных изменений на планете, связанных с развитием человечества, можно назвать следующие (Войткевич, Вронский, 1996).

1. Возрастание механически извлекаемого материала земной коры – рост разработки месторождений полезных ископаемых. Сейчас он превышает 100 млрд тонн в год, что в 4 раза больше массы материала, выносимого речным стоком. В геологическом круговороте резко возрастает звено денудации.

2. Происходит массовое потребление (сжигание) продуктов фотосинтеза прошлых геологических эпох. В связи с этим в биосфере химическое равновесие смещается в сторону, противоположную глобальному

процессу фотосинтеза, что неизбежно приводит к росту содержания углекислого газа в атмосфере и уменьшению содержания свободного кислорода. Намечается усиление парникового эффекта и изменение климата в сторону общепланетарного потепления.

3. Процессы в антропогенной биосфере приводят к рассеянию энергии, а не к ее накоплению, что было характерно для биосферы до появления человека.

4. На планете в массовых количествах создаются вещества, отсутствовавшие ранее, в том числе чистые металлы. Часть их выбывает из общего геохимического круговорота – происходит антропогенная металлизация биосферы. В огромном количестве стремительно накапливаются промышленные отходы.

5. Появляются трансурановые элементы (плутоний и др.) в связи с развитием ядерной технологии. Нарастает опасность заражения радиоактивными отходами.

6. Ноосферные образования выходят за пределы Земли в связи с развитием научно-технического прогресса. Началось освоение космического пространства с непредвиденными возможностями. Появляется принципиальная возможность создания искусственных биосфер на других планетах.

Роль биосферы в формировании и функционировании литосферы

1. Живое вещество – фактор изменения геологических процессов, например выветривания (биомеханическое (корнями растений, сверление субстрата и др.), биохимическое).

2. Живое вещество – агент перемещения вещества литосферы биомеханическим и биохимическим путями.

3. Создание биоминералов и появление биогенного механизма образования горных пород (железные руды, каменный уголь, торф, ракушняк, мел и т.д.).

4. Участие живого вещества в осадконакоплении, вследствие чего в литосфере формируются образования: а) построенные организмами при жизни (коралловые рифы), б) сложенные остатками организмов (ракушняки), в) переработанные организмами (твердое дно), г) сложенные продуктами жизнедеятельности организмов (копролитовые линзы, руды, сера и т.д.), д) смешанные.

5. Формирование различных геологических тел в литосфере: а) пласто- и линзовидных (угли, торфы, руды), б) специфичной формы (риффы).

Роль литосферы в развитии биосферы

1. Для ряда организмов литосфера является средой обитания, для других — субстратом: постоянным (например, для многих растений) или непостоянным (для летающих организмов).

2. Литосфера является источником энергии для живого вещества (хемосинтез).

3. Литосфера является источником вещества для организмов (литофагия).

4. Литосфера также оказывает воздействие на жизнедеятельность и поведение организмов (биолокационный эффект и др.). Механизмы такого воздействия изучены слабо.

Глава 8. Экология и палеоэкология

Экологические особенности человечества

Человек разумный (*Homo sapiens*) – один из трех миллионов видов современных организмов, занимающий свое определенное место в системе органического мира: царство животные, тип хордовые, класс млекопитающие, отряд приматы, семейство гоминид, род *Homo*. Сегодня из числа видов рода *Homo* обитает лишь *Homo sapiens*.

Это единственный вид, обладающий так называемым биосоциальным дуализмом. С экологической точки зрения человечество – это общемировая (космополитная) популяция биологического вида *Homo sapiens* со своими экологическими взаимосвязями, часть экосистемы. Принимает участие в круговороте веществ, конкуренции, является симбионтом, организмом-хозяином и т.д.

Но в то же время это необычный вид, выделяющийся своими особенностями, присущими ему в отличие от других видов органического мира. Он образует общественную систему – «человечество». Он обладает огромными масштабами и силой воздействия на окружающую среду. Обладает способностью изменять и «подчинять» себе среду обитания с необычайно большой скоростью. Таким образом, человечество подчиняется не только биологическим, но и иным, прежде всего социальным законам.

Основные события в истории человечества.

1. Применение орудий труда (3–2 млн лет).
2. Навыки изготовления орудий труда (около двух миллионов лет назад – человек умелый).
3. Умение поддерживать огонь (0,5 млн лет – синантропы).

4. Членораздельная речь и сопутствующее ей абстрактное (понятийное) мышление (около 40 тысяч лет назад).

5. Возникновение сельского хозяйства, то есть «производства продовольствия», ресурсов (около 10 тыс. лет назад).

6. Появление машин и механизмов. Овладение всеми видами ископаемого топлива. (200–300 лет назад).

7. Освоение ядерной энергии.

В истории социально-экологических связей человечества можно определить две главные тенденции.

1. Нарастание эмансипации от среды обитания.

2. Нарастание энерговооруженности, влекущее усиление давления на экосферу.

Противоречия с природой уже неоднократно проявлялись в истории человечества. Древние цивилизации Месопотамии и Средиземноморья развивались по сценарию: рост населения — истощение ресурсов — экспансия — милитаризация, тоталитаризм — сверхнагрузка на ресурсы — деградация окружающей среды — духовная деградация — утрата внутренней энергии и развал государственной системы. Чтобы такая ситуация не повторялась в будущем, человек пересматривает свои взаимоотношения с природой. Одним из шагов к новому диалогу человека и природы является разработка и воплощение так называемой стратегии устойчивого развития, основные положения которой можно сформулировать следующим образом.

1. Приоритетность качественных показателей над количественными (численность, потребление).

2. Противостояние энтропийным процессам (милитаризация, рост отходов).

3. Сохранение биологического и культурного разнообразия.

4. Согласование программы природопользования с эволюционной периодичностью природных процессов.

5. Предпочтение устойчивости извлечению максимальной прибыли при планировании дальнейшего развития.

Контроль в сфере нанотехнологий

По признанию ведущих ученых, наступающий XXI век – век нанотехнологий (область применения которых измеряется молекулами, клетками организмов) и генной инженерии в биологии и медицине.

Опасность генной инженерии в биологии и сельском хозяйстве для окружающей среды

Не секрет, что на сегодняшний день площадь, засеянная трансгенными растениями (генетически измененными человеком растениями) составляет 40 млн гектаров, что больше территории Великобритании (Скрябин, 1999). По своей сути трансгенные растения – это растения-мутанты, изобретенные человеком при помощи комбинации генов существующих растений. Человек придумал картофель, который не ест колорадский жук, добился максимальных размеров корнеплодов. Но встает вопрос: почему колорадский жук, который находится во взаимосвязи с картофелем, не поедает новый, генетически измененный картофель? Ответ очевиден: потому что это – не картофель, а что-то другое, новое, новый вид растений, ранее не существовавший в природе. *Таким образом человек изменяет состав биоценоза, вводя в него новые составные элементы.*

В США и Западной Европе уже несколько лет в магазинах продаются так называемые «искусственные» и «натуральные» продукты, причем отмечена тенденция к вытеснению первыми последних. Искусственная кукуруза намного больше, слаще природ-

ной (натуральной), содержит целую «таблицу» новых витаминов, никогда ранее не присущих природной кукурузе. Эти факты поднимают ряд вопросов.

Во-первых, как употребление этих продуктов питания отразится на человеке? Пока не отмечено каких-либо фактов отрицательного воздействия, однако не так много людей пока употребляют их в пищу. Видимо, надо подождать какое-то время, прежде чем можно будет анализировать эту связь.

Во-вторых, как новые изобретенные организмы будут взаимодействовать внутри биоценоза с существующими там природными организмами? Известны факты двоякого воздействия этих организмов.

Первое воздействие — смерть, вымирание, сокращение популяций или вынужденная миграция природных организмов после взаимодействия с генетически измененными растениями. На некоторых полях Западной Европы, засеянных трансгенными растениями, отмечалась массовая гибель бабочек после того, как они полакомились нектаром новых растений.

Второе воздействие — неконтролируемая эволюция в биоценозе, спровоцированная вводом в среду новых видов растений. На ряде сельскохозяйственных объектов США насекомые стали переносить на себе пыльцу трансгенных растений, что привело к мутациям уже существовавших растений и появлению новых разновидностей растений. *Таким образом, неконтролируемая эволюция растений уже идет около десяти лет, и трансгенные растения начали сами завоевывать биологическое пространство нашей планеты, но изменить или остановить это явление пока человек не в состоянии. Интересно, какое место для человека останется и останется ли оно вообще в новом трансгенном мире?*

Опасность генной инженерии в медицине для окружающей среды.

Не секрет, что человек в XX в. изобретал и применял биологическое и бактериологическое оружие, выдумывал различные смертельные вирусы, что приводило к массовым эпидемиям и гибели людей. В конце нашего века человек шагнул еще дальше — стала возможной генетическая хирургия.

Генетическая хирургия.

Что это такое? Например, человек страдает каким-либо хроническим заболеванием, которое в старости может привести к смерти. Известны гены, контролирующие правильную работу тех или иных органов человека, которые при правильной работе препятствуют возникновению этого заболевания. Ключ к решению этой проблемы — заставить работать нужные органы в правильном, нужном режиме. Если раньше больные органы либо удалялись, либо заменялись на донорские или искусственные, либо долго лечились при помощи таблеток и специальных методик, то теперь достаточно впрыснуть шприцем нужный ген в больное место и все придет в норму. В США уже около десяти лет идут операции подобного рода. Если у больного неправильно функционирует печень, то в нее вводят нужный комплекс генов, заставляющих ее работать в нормальном режиме. Более того, в будущем возможно будет заказать себе не донорский орган (который может не прижиться), а орган, полученный клонированием. Хотя пока официально клонирование человека запрещено, это не значит, что запрет на клонирование отдельных его частей (органов) будет действовать в будущем. Наблюдение за пациентами после генетических операций пока не выявило каких-либо серьезных отклонений, но если это произойдет — значит на нашей планете среди

нас живут генетически измененные люди, иными словами, уже не люди в смысле *Homo sapiens sapiens*, а гуманоиды.

Генетические эксперименты на животных в Западной Европе позволили добиться, чтобы, например, корова вырабатывала козье молоко и наоборот. Вместе с новыми опытами армия генетически измененных животных растет. Подопытные животные тщательно охраняются, размножаются в неволе и представляют опасность для истинных «натуральных» биоценозов.

Клонирование организмов или их частей.

Создание клонов, или генетически идентичных копий живых существ или их составных элементов, по своей сути влечет к деградации в далеком будущем этих организмов. Огромное число растиражированных генетических копий живых существ какого-либо вида будет приводить к близкородственному скрещиванию, деградации и вымиранию биологического вида.

Прогресс и триумф медицины – начало вымирания человечества?

Прогресс современной медицины позволяет значительно продлить срок жизни человека. Скорее всего, скоро человечество придумает вакцины против рака, СПИДа и других серьезных болезней. Много заболеваний уже побеждено, и когда последние серьезные болезни будут устранены, перед человечеством встанет острый вопрос перенаселенности планеты. Дело в том, что болезни – это инструмент регуляции численности популяции людей, элемент естественного отбора по принципу: выживает сильнейший. Победа над болезнями – шаг навстречу бессмертию.

Без учета вышесказанного, при нынешнем уровне медицины в 2050 г. население Земли составит около

11 млрд человек, следовательно, на последующие 50 лет ему надо пищи в 2 раза больше, чем оно съело за всю предыдущую историю. Непонятно, откуда взять столько ресурсов для такого числа людей на нашей планете? Возможно, к тому времени станет актуальным заселение людьми других планет.

Экологическая геология

Предпосылками возникновения этого научного направления явились работы В.И.Вернадского по геохимии и обострение экологического кризиса в литосфере, которая обладает рядом экологических особенностей.

1. Литосфера является субстратом развития биосферы и деятельности человека.

2. Литосфера является конечной сферой захоронения продуктов деятельности живого вещества и человека.

3. Процессы в литосфере протекают наиболее медленно, что производит ошибочное впечатление их экологической незначительности.

4. Последствия воздействия на литосферу могут иметь наиболее катастрофический для человека характер (техногенные землетрясения, активизация оползневых процессов и т.д.).

Основными видами пагубного воздействия человека на литосферу можно назвать следующие.

1. Подземные ядерные взрывы.

2. Создание свалок твердых отходов.

3. Загрязнение подземных вод.

4. Воздействие на верхние горизонты (термическое, электромагнитное и пр.).

5. Добыча полезных ископаемых, стремительно нарастающая вглубь и вширь.

Наиболее мощными факторами воздействия на каменную оболочку планеты являются: а) добыча и переработка полезных ископаемых, б) инженерно-строительная деятельность, в) сельскохозяйственная деятельность и г) военная деятельность человечества.

О масштабности воздействия говорят, в частности, такие факты. Темп механического извлечения вещества из литосферы составляет более 100 млрд т/год. Это более чем в четыре раза превышает денудационный снос всех текучих вод на земной поверхности в водоемы.

Все текучие воды перемещают по земной поверхности около 13 км³/год твердого вещества. Это в 30 раз меньше, чем перемещается твердого вещества в процессе строительных работ и при добыче полезных ископаемых.

Мощность производства каждые 14–15 лет удваивается. Отсюда становится понятной стремительная активизация неблагоприятных для человека геологических процессов (оползни, сели, подтопление и заболачивание, засоление почв, техногенные землетрясения и т.п.).

Площадь суши, покрытая сооружениями, составляет по данным на 1985 г. 8%, на 1990 – более 10%, на 2000 – около 15% (то есть около 1/6 общей площади суши). С учетом сельскохозяйственных объектов человеком на сегодняшний день изменен облик около половины площади суши. Так же стремительно развивается механическое проникновение человека в глубь литосферы (подземные тоннели, метро, переходы, хранилища, скважины).

Результаты деятельности человечества могут быть оценены и в космических масштабах. Протяженность железных дорог (и следовательно, зон изменения почв, рельефа, геологических процессов) составляет около 1400 тыс. км., что в 3,5 раза превышает расстояние от Земли до Луны. Суммарная протяженность берегов искусственных водоемов больше длины земного экватора.

Протяженность магистральных и судоходных каналов составляет примерно расстояние от Земли до Луны.

«Космичность» деятельности человека видна визуально, например, при сравнении по космофотоматериалам таких морфологически сходных образований, как метеоритные кратеры и крупные карьеры.

В результате геологической деятельности человечества получили развитие так называемые техногенные (антропогенные) отложения. Их геологические характеристики определяются особенностями состава коренных пород, подвергшихся преобразованию, и спецификой соответствующего антропогенного процесса. Выделяют также техногенные (антропогенные) элементы и формы рельефа:

положительные	отрицательные
насыпи	выемки
терриконы	карьеры
отвалы	котлованы

В условиях обостряющегося экологического кризиса эколого-геологические исследования приобретают все большее значение. В.Т.Трофимовым и Д.Г.Зилингом в последнее время активно развивается учение о тэкологических функциях литосферы (выделяются ресурсная, геодинамическая, геохимическая и геофизическая функции).

Палеоэкология

Палеоэкология – пограничная наука, стоящая на стыке географии и палеогеографии, экологии, биологии и палеонтологии. Объектом ее изучения являются биоценозы далекого геологического прошлого (их со-

став, внутренние и внешние связи, условия существования). Внутренние связи — взаимоотношения между членами биоценоза (например, пищевые цепи). Внешние связи — отношения с другими биоценозами. Условия существования определяются климато-географическими факторами, а для четвертичного периода — и антропогенным фактором.

Перекрытие областей знания палеоэкологии с рядом наук обуславливает неизбежный анализ причин массовых вымираний в геологическом прошлом (палеонтология) в определенных физико-географических условиях (палеогеография) с последующим сравнением с причинами вымирания современных форм организмов (биология) в определенных физико-географических условиях (география) и/или под антропогенным воздействием (экология).

Пересечение прошлого и настоящего необходимо для более целостного анализа сути явлений, происходивших и происходящих в вымерших, вымирающих и существующих сообществах организмов, и, что важно, для возможного анализа будущего.

Прошлое и настоящее

Прошлое — ключ к познанию настоящего

Палеонтологи, раскапывая следы жизнедеятельности древних организмов, часто задают себе один и тот же вопрос: почему эти организмы не дожили до наших дней, почему они вымерли? Реконструируя условия жизни, в которых существовали эти организмы, мы можем понять, какие благоприятные условия окружающей среды способствовали их расселению, размножению и соответственно какие — могли послужить причиной их повсеместного вымирания. Однако человек — это такой же биологический вид, как и многие другие

виды, населяющие нашу планету, а это значит, что он так же зависит от условий окружающей среды, как и все другие формы жизни.

От прошлого к настоящему

Примеры палеоэкологических событий в геологической летописи Подмосковья

Разберем ряд некоторых основных палеоэкологических событий, имевших место в геологической истории Подмосковья, на примере ряда обнажений в Московской области. В Подмосковье обнажаются породы палеозоя (каменноугольной системы), мезозоя (юрская и меловая системы) и кайнозоя (неогеновая и четвертичная системы).

В каменноугольном периоде на территории Подмосковья существовал морской бассейн с коралловыми рифами, которые сохранились в ископаемом состоянии до наших дней. Следовательно, это было тепловодное и мелкое море с богатым биоценозом. Попробуем восстановить членов этого сообщества и проследить пищевые связи между ними. В ряде карьеров Подмосковья (ст. «Пески», Домодедовский, Щуровский и др.) относительно много окаменелых остатков различных организмов, которые можно за 2–3 часа собрать группой или одному для осуществления реконструкции сообщества. Предполагаемые пищевые связи для среднекарбонового времени приведены на рис. 8.1. Из него видно, что основными источниками корма являлись: планктон, водоросли и измельченные остатки органики (детрит). В каменной летописи это море запечатлено в виде известняков и мергелей (среднее между глиной и известняком), переполненных окаменелостями (фоссилиями). Можно встретить

и доломиты — крепкие горные породы, близкие по химическому составу к известнякам.

В них очень мало ископаемой фауны. Одно из объяснений с позиций палеоэкологии может быть следующим: доломиты маркируют обстановки с неблагоприятной соленостью воды, а следовательно, это и есть причина бедности биоценоза. Таким образом, в каменноугольном периоде имело место **событие** — время с неблагоприятной соленостью. Все события обычно оставляют след в каменной книге прошлого. Наша задача — уметь правильно их расшифровывать.

Второе **событие** устанавливается в отложениях юры, где в черных глинах (например, карьеры Лопатинских фосфоритных рудников) местами либо мало фоссилий, либо они захоронены горизонтами. Пищевые связи участников этого сообщества приведены на рис. 8.2. В глинах можно встретить пиритовые конкреции. Формула пирита — FeS_2 . Это сульфид железа. Такие конкреции обычно образуются в условиях дефицита кислорода в водной среде. А сегодня на открытом воздухе они окисляются и разрушаются. Что значит дефицит растворенного в воде кислорода и чем это может быть вызвано? В результате перемены в гидродинамическом режиме водного бассейна в ряде его участков нарушается циркуляция водных потоков и возникают застойные явления. Пример из повседневной жизни: если закрыть в комнате окна и дверь, зайти в нее через некоторое время, то там будет так называемый «спертый воздух». Как только мы проветрим комнату — дышим спокойно.

Дефицит кислорода приводил к массовому вымиранию животных, что запечатлено в виде слоев, переполненных скелетными остатками. Сегодня такие процессы, как стагнация (застой) водных масс с последу-

ющим сероводородным заражением и гибелью биоты, можно наблюдать в Черном море.

Примеры палеоэкологических событий в геологической летописи

Пример 1. Венд (650–570 млн лет назад). В венде существовали уникальные бесскелетные формы беспозвоночных животных. Многие из них достигали внушительных размеров. В следующем отрезке геологического времени – в кембрии – число бесскелетных видов резко сократилось, возникло много скелетных форм. Это может быть объяснено возросшей агрессивностью воды (неблагоприятный химический состав, побуждающий организм прятаться в раковину). Однако питание и дыхание неизбежно сопряжены с контактом с внешней средой, то есть организм все равно был бы подвержен влиянию среды через поры или отверстия раковины. Другое возможное объяснение – появились хищники: а значит, необходима защита – панцирь. Таким образом, в венде, скорее всего, не было хищников, то есть пищевая пирамида для этого времени не имеет вершины – хищника (пищевая цепь не была замкнута на хищнике). Иными словами, это не пирамида, а – трапеция. Еще возможное объяснение исчезновения бесскелетных форм венда – вымирание вендского биоценоза из-за отсутствия хищников, регулирующих численность членов биоценоза. Составным компонентам биоценоза не хватило ресурсов для гармоничного сосуществования.

Пример 2. Меловой период (144–65 млн лет назад). Не всегда вымирание каких-либо групп организмов происходит быстро и внезапно. В геологической истории известны факты постепенного вытеснения одних видов другими. Например, в меловом периоде появились покрытосеменные растения (магнолиофи-

ты) травянистого и кустарникового облика. До этого момента доминировали растения мезофита (цикадовые, беннеттитовые, древовидные папоротники и хвощи и т.д.), которые не покрывали сплошным ковром земную поверхность. «Травы» в современном понимании также не было. За несколько миллионов лет магнолиофиты полностью заполонили подлесок, лишая таким образом древние растения мезозоя (мезофитные) шансов воспроизводить себе подобных, так как для молодой поросли мезофитных растений не хватало ни места, ни света. Со временем все мезофитные растения состарились и вымерли.

Пример 3. Конец мелового периода (65 млн лет назад). Проанализируем существующие на данный момент гипотезы, объясняющие вымирание динозавров на рубеже мезозоя и кайнозоя 65 млн лет назад.

Гипотеза 1. Изменение климата вызвало гибель растений, которыми питались растительноядные динозавры. Появились новые растения, однако они им не подходили в пищу. С уменьшением численности растительноядных форм сокращалось количество хищных рептилий.

Гипотеза 2. Горообразование изменило рельеф и привело к сокращению площадей, занимаемых болотами, оазисами и лагунами, — наиболее благоприятных мест для обитания рептилий. Скорее всего, это могло привести к сокращению численности динозавров, но не к их полному вымиранию.

Гипотеза 3. Болезни, дегенерация и паразиты смертельно замучили динозавров. Возможно, что дегенерация и мутации могли иметь место. Известны факты находений яиц динозавров с очень толстой скорлупой. Как считают некоторые палеонтологи, из таких яиц детеныш не мог выбраться самостоятельно.

Гипотеза 4. Катастрофы. Падение гигантского метеорита, его взрыв с последующим эффектом «ядерной зимы». Метеоритные дожди, активная вулканическая деятельность, изменение атмосферного давления, прохождение гигантской кометы рядом с планетой, увеличение интенсивности солнечной радиации. Иными словами, земля «горела» под ногами динозавров. Однако встает вопрос: почему в этих ужасных условиях погибли динозавры, а другие группы животных и растений не вымерли?

Гипотеза 5. Млекопитающие съели все яйца динозавров, хищные динозавры съели всех растительноядных, а потом съели друг друга.

Гипотеза 6. В истории Земли многократно имели место инверсии магнитного поля со смещением геомагнитных полюсов. Животные, регулярно мигрирующие из одних регионов в другие, теряли ориентацию и погибали стаями.

Гипотеза 7. Известно, что на Землю все время падали и падают метеориты, что приводит к возрастанию массы нашей планеты, а следовательно, и возрастанию силы тяжести. Гигантские растительноядные формы потеряли способность к движению, так как их скелет не выдержал их веса. Иными словами, динозавры раздавили себя сами под действием возросшей силы земного тяготения (Романов, 1996).

Гипотеза 8. Инопланетяне прилетели на летающих тарелках и отстреляли всех динозавров. В подтверждение этой гипотезы приводились черепа ящеров, найденные в США, с округлыми отверстиями между глаз.

Даже такого беглого обзора достаточно, чтобы показать, от какого большого числа факторов зависит существование любого биологического вида. Это важно учитывать, чтобы человек не повторил судьбу динозавров.

Пример 4. Четвертичный период (2 млн лет назад — 2000 г.). Исчезновение мамонтовой фауны. Существуют две основные концепции. Первая исходит из того, что мамонты вымерли из-за прессинга со стороны человека. В качестве примеров такого прессинга приводятся данные об исчезновении стеллеровой коровы, птицы-моа и других видов. Вторая гласит: мамонты не приспособились к изменению ландшафтных условий, последовавших после окончания последней фазы оледенения.

Из вышеприведенных примеров можно сделать ряд выводов:

1. Исчезновение тех или иных групп животных происходило и происходит постепенно или внезапно.

2. Внезапные вымирания, как правило, связаны с кризисами в сообществах животных и растений.

3. Кризисы являются следствием внутренних причин (отсутствие хищника, замыкающего пищевую пирамиду) или внешних, когда они вызваны природными катаклизмами (изменение климата — похолодание и оледенение или потепление, подъем уровня моря, падение метеоритов и т. д.). В четвертичном периоде кризисы также могут быть результатом антропогенной деятельности.

Настоящее — ключ к познанию прошлого

От настоящего к прошлому

Для восстановления палеоэкологических обстановок далекого прошлого можно пользоваться методом актуализма. Ниже приведено его описание. Многие из современных организмов и даже родов или видов существовали в далеком геологическом прошлом, о чем свидетельствуют их останки в породах. Они совсем не изменили свой облик за многие миллионы лет. Их еще называют «живыми ископаемыми». Анализируя условия окружающей среды, в которых они существуют сегодня,

мы можем восстанавливать экологические условия далекого прошлого. Для примера приведена таблица 8.1.

Организмы, выносящие колебания каких-либо факторов, имеют приставку «эври-», не выносящие — «стено-». Например, стенооксидные формы не могут обитать в воде с дефицитом кислорода.

Таблица 8.1

Экология родов пелеципод (1–7), брахиопод (8) и морских ежей (9), установленных в изучаемых разрезах (Давиташвили, Мерклин, 1966; Михайлова, Бондаренко, 1997; Arduini, Teruzzi, 1986; Bromley, 1996; Walker, Ward, 1992)

	Род	Глубина, м	Газовый режим	Температура воды, °С
1	<i>Pecten</i> (J – Q)	0,5 – 900, обычно 10 – 50	эвриоксидные	8,8 – 23,5
2	<i>Chlamys</i> (J – Q)	1 – 90, обычно 2 – 50	эвриоксидные	1 – 5
3	<i>Ostrea</i> (T – Q)	4 – 100	эвриоксидные (до 15 суток)	0 – 32 теплолюбивы
4	<i>Glycymeris</i> (K – Q)	эврибатные 0 – 1000	стенооксидные	9 – 12, 18 – 21
5	<i>Pteria</i> (S – Q)	1 – 374, обычно 6 – 60	стенооксидные	14-16, 25-32
6	<i>Pholadomya</i> (J – Q)	нет данных	нет данных	теплолюбивы
7	<i>Nucula</i> (S – Q)	эврибатные 2 – 2000	эвриоксидные (до 17 суток)	3 – 10, эвритермны
8	<i>Lingula</i> (S – Q)	до 40 – 100 м	нет данных	теплолюбивы
9	<i>Cidaris s. l.</i> (T ₃ – Q)	до 4000, обычно 75 – 100	стенооксидные	стенотермны

Солёность, ‰	Примечание
стеногалинные, редко – эвригалинные формы	Заселяют все типы грунтов. Необходимы течения. Пища: диатомеи и мелкие ракообразные
2 – 38	Все типы грунтов, кроме илистых. Пища: диатомеи, споры водорослей, ракообразные, форамениферы и личинки моллюсков
12 – 30	Питаются растительным и животным детритом, личинками моллюсков и червей, веслоногими рачками
25 – 33, стено- и эвригалинные формы	Заселяют любой грунт. Предпочтительнее – песчаный. Питаются детритом
стеногалинны, не выносят опреснения	Избегают течений и прибоев. Обитают в чистой и прозрачной воде на твердом грунте. Пища: диатомеи и инфузории
нормальная	Заселяют илистые грунты, тихие заводи
25 – 33	Зарываются в рыхлый илистый или песчано-илистый субстрат. Поедаются рыбами и хищными гастроподами
выносят опреснение	Заселяют рыхлые грунты. Переносят загрязнение воды
стеногалинны	Заселяют илистые грунты. Питаются губками и горгонидами

Заключение

Современная наука поднимает широчайший спектр проблем, решать которые можно лишь совместными усилиями наук о Земле и наук о жизни, а в ряде случаев нельзя обойтись без привлечения иных направлений естественнонаучного и гуманитарного циклов. Все чаще и значительнее высвечиваются в науках о Земле и в науках о жизни проблемы с явным гуманитарным оттенком. Уже формируются такие междисциплинарные направления, как биоэтика и геоэтика. Важнейшими в современном мире становятся проблемы глобальной экологии, а для развития современного общества – вопросы экологического сознания, образования и воспитания, изучить и развить которые невозможно без знания наук о жизни, наук о Земле и соответствующих комплексных дисциплин.

В последнее время часто появляются научные работы о судьбе и возможных сценариях дальнейшего развития планеты и человеческой цивилизации, о роли человечества в космическом масштабе в будущем. Кроме того, нет окончательной ясности во многих крупных «традиционных» вопросах, например, происхождения Земли и формирования геосфер и появления жизни на Земле, а значит, их разрешение также принадлежит будущему.

Таким образом, важнейшей чертой дальнейшего развития наук о Земле и наук о жизни становится их интеграция и взаимодействие со всеми сферами человеческого знания. При этом нельзя забывать, что основой такой интеграции является расширение и углубление наших знаний по конкретным геонаучным и био-научным вопросам.

В конечном итоге, как справедливо полагают современные исследователи (Чумаков, 2005), логика

развития объективных событий порождает глобализацию, охватывающую всю нашу планету Земля на уровне трех ее основных сфер: геологической, биологической и социальной, которым предлагается дать объединенное название – триосфера (являющаяся своего рода «субстратом» для становления сферы разума – ноосферы). Наступило время воссоздания новой целостной (хористической) картины мироздания с точки зрения бурно развивающейся в последние годы глобалистики – междисциплинарной области научного знания, возникшей на «перекрестке» («стыке») философии, естественных и гуманитарных наук. Глобалистика рассматривает глобализацию, с одной стороны, как объективный естественно-исторический процесс, возможно, основной движущий фактор развития (эволюции) человеческой цивилизации, а с другой – как сферу субъективных взаимоотношений и противоборства различных сил и интересов мирового сообщества.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Arduini P., Teruzzi G. The Macdonald encyclopedia of fossils. London, Macdonald & Co (Publishers) Ltd. 1986. 317 p.

Berger A. L. Pre-Quaternary Milankovitch frequencies. *Nature*, 1989. 342. p.133.

Bromley, R. G. Trace fossils: biology, taphonomy and applications. London: Chapman & Hall. 1996. 320 p.

Bucha V., Bucha V. Jr. Geomagnetic forcing of changes in climate and in the atmospheric circulation// *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 1998. 60 (2), p.155–169.

Gale A. Cyclostratigraphy// *Unlocking the Stratigraphical Record: Advances in Modern Stratigraphy/* Ed. P. Doyle, M.R. Bennett. 1998. p.195–220.

Hay W. W., Wold Ch. N. Preliminary reconstruction of the salinity of the ocean in the Cenozoic and Mesozoic// *Karl–Armin Troeger Festschrift. Palaeontologie, Stratigraphie, Fazies. Freiberg Forschungsheft C468.* 1997. p.119–127.

Kegian Zhou Rp, Butler. A statistical study of the relationship between the solar cycle length and tree-ring index values// *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. 1998. 60 (18), p.1711–1718.

Schwarzacher W. Cyclostratigraphy and the Milankovitch Theory. Amsterdam: Elsevier. 1993. 225 p.

Walker C, Ward D. Fossils. NY: Dorling Kindersley, Inc. 1992. 320 p.

Большаков В.А., Большаков П.В. Астрономическая теория палеоклимата – новая концепция// *Стратиграфия. Геологическая корреляция.* 1999. № 6, С.3–13.

Вернадский В.И. Живое вещество и биосфера. М.: Наука, 1994. 672 с.

Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. М.: Наука, 1991. 271 с.

Вилли К., Детье В. Биология (биологические процессы и законы). М.: Мир, 1974. 824 с.

Войткевич Г.В., Вронский В.А. Основы учения о биосфере. Ростов-на-Дону: Изд-во «Феникс», 1996. 480 с.

Волков Ю.В. О периодических составляющих Фриборда и геохронологической шкалы// *Нетрадиционные вопросы геологии. Материалы VIII научного семинара. М., 2000. С.57–61.*

Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология. М.: Мир, 1990. Т.1. 368 с.; Т.2. 325 с.; Т.3. 376 с.

Давиташвили Л.Ш., Мерклин Р.Л. Справочник по экологии морских двустворок. М.: Наука, 1966. С. 3–310.

Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора. Книга для учителя. М.: «Просвещение», 1987. 384 с.

Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь. Кишинев.: Гл. ред. Молдавской Сов. энцикл., 1990. 408 с.

Еськов К.Ю. История Земли и жизни на ней. М.: МИРОС-МАИК «Наука/Интерпериодика», 2000. 352 с. «Знание – Сила». №1–2. 1947.

Историческая геология с основами палеонтологии /Е.В.Владимирская, А.Х.Кагарманов, Н.Я.Спасский и др.Л.: Недра, 1985. 423 с.

Ичас М. О природе живого: механизмы и смысл. М.: Мир, 1994. 496 с.

Маргелис Л. Роль симбиоза в эволюции клетки. М.: Мир, 1983. 352 с.

Миттон С., Миттон Ж. Астрономия. М.: Росмэн. 1995. 160 с.

Михайлова И.А., Бондаренко О.Б. Палеонтология. Ч. 1. М.: МГУ, 1997. 448 с.

Михайлова И.А., Бондаренко О.Б. Палеонтология. Ч. 2. М.: МГУ, 1997. 496 с.

Найдин Д.П., Копеевич Л.Ф. Внутриформационные перерывы верхнего мела Мангышлака. М.: МГУ, 1988. 141 с.

Небел Б. Наука об окружающей среде: как устроен мир. М.: Мир, 1993. Т.1. 424 с.; Т.2. 336 с.

Немков Г.И., Левицкий Е.С., Гречишников И.А. и др. Историческая геология. М.: «Недра», 1986. 352 с.

Общая биология/ Л.В.Высоцкая, С.М.Глаголец, Г.М.Дымшиц и др. М.: Просвещение, 1995. 544 с.

Реймерс Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М.: Журнал «Россия Молодая», 1994. 367 с.

Романов Р. Ну и сожгите меня на костре! М.: ТОО «Фантастика для всех», 254 с.

Северцов А.С. Основы теории эволюции. М.: Изд-во МГУ, 1987. 320 с.

Синицын В.М. Введение в палеоклиматологию. М.: Недра, 1967. 232 с.

Синицын В.М. Введение в палеоклиматологию. М.: Недра, 1980. 248 с.

Скрябин К.Г. Биологические технологии: успехи и опасения. Тез. докл. II Всероссийской научной конференции «Россия-XXI век», 1999. С.63–66.

Советский энциклопедический словарь/ Прохоров А.М. (пред. науч.-ред. совета) и др. М.: «Советская энциклопедия», 1982. С.464–465.

Фентон К.Л., Фентон М.А. Каменная книга. М.: Наука, 1997. 623 с.

Хаин В.Е. Основные проблемы современной геологии (геология на пороге XXI века). М.: Наука, 1995. 190 с.

Хаин В.Е., Короновский Н.В., Ясаманов Н.А. Историческая геология. М.: МГУ, 1997. 448 с.

Чумаков А.Н. Глобализация. Контуры целостного мира. М.:, 2005.

Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. М.: Наука, 1987. 320 с.

Эйген М., Шустер П. Гиперцикл. Принципы самоорганизации макромолекул. М.: Мир, 1982. 271 с.

Учебное издание

Габдуллин Р.Р., Ильин И.В., Иванов А.В.

ЭВОЛЮЦИЯ Земли и ЖИЗНИ

Корректор Г.А.Ярошевская

Подписано в печать 02.10.2005.

Формат 60×90 ¹/₁₆. Бумага офс. №1

Офсетная печать

Усл. печ. л. 23,0. Уч.-изд- л. 22,3

Тираж 3000 экз.

Ордена «Знак Почета» Издательство Московского университета
125009, Москва, ул. Б. Никитская, 5/7