



Н.Н.ВОРОНЦОВ
Л.Н.СУХОРИКОВА

ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Н.Н.ВОРОНЦОВ Л.Н.СУХОРИКОВА

ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

ФАКУЛЬТАТИВНЫЙ КУРС

Учебное пособие
для 9—10 классов
средней школы

Рекомендовано
Главным учебно-методическим управлением
общего среднего образования Госкомитета СССР
по народному образованию

МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1991

ББК 28.02я72
В75

Рецензент:

учитель школы № 627 Москвы канд. биол. наук
Е. А. РАШКОВАН



Воронцов Н. Н., Сухорукова Л. Н.

В75 Эволюция органического мира: Факультатив. курс.: Учеб. пособие для 9—10 кл. сред. шк. — М.: Просвещение, 1991. — 223 с. ил. — ISBN 5-09-002685-8.

Учебное пособие предназначено для учащихся, изучающих факультативный курс «Эволюция органического мира», проявляющих интерес к проблемам эволюционной теории. В нем учащиеся найдут ответы на вопросы о происхождении жизни на Земле, о критериях жизни, выдвигаемых современной наукой, о многообразии органического мира, его охране и др.

В 4306020000--370
103(03)—91 инф. письмо — 90, № 130

ББК 28.02я72

ISBN 5-09-002685-8

Воронцов Н. Н., Сухорукова Л. Н., 1991

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга знакомит с историей развития и современным состоянием фундаментальной области биологической науки — теорией эволюции, рассказывает о проблемах, которые решала и решает эта наука. В книге содержатся ответы на вечные вопросы: как возникла и развивалась жизнь на нашей планете? Как объяснить бесконечное многообразие живых форм, удивительную приспособленность живых существ к среде обитания? Каковы движущие силы и направления эволюции? Как возник человек? К каким последствиям может привести освоение человеком живой оболочки Земли — биосферы?

В основу построения данного факультативного курса положена синтетическая теория эволюции (СТЭ), в которой обобщены данные, полученные при изучении живой природы на всех уровнях ее организации — от молекулярно-генетического до биосферно-биоценотического. Это и определило структуру книги, несколько отличающуюся от традиционного изложения материала в школьных учебниках. Факультативный курс начинается с рассмотрения основных закономерностей молекулярной биологии, цитологии и генетики, позволяющих дать понятие о явлениях наследственности и изменчивости, лежащих в основе механизмов эволюционного процесса. Сам процесс эволюции первоначально разворачивается на популяционном уровне, так как именно здесь взаимодействуют элементарные эволюционные факторы и эволюционный материал. Знакомству с элементарными эволюционными факторами предшествует изложение теории Ч. Дарвина о движущих силах и результатах эволюции, что позволяет рассматривать учение о микроэволюции как синтез классического дарвинизма и генетики.

В сопоставлении с микроэволюцией рассматривается понятие макроэволюции, показывается разнообразие форм жизни, возникшее на длительном пути ее исторического развития.

Самая объемная по содержанию — глава V, посвященная возникновению и развитию жизни на Земле. Это объясняется тем, что раскрытие закономерностей эволюции материи от абиогенных форм движения к жизни, картины развития живой природы, эволюции человека дают исключительные возможности приобщить читателя к тайнам возникновения и истории жизни на нашей планете, рассказать о расцвете и крушении разнообраз-

ных научных гипотез, о постановке и решении новых проблем, пользе научных поисков в пограничных областях разных дисциплин.

Главная задача данного факультативного курса — заинтересовать проблемами эволюции, помочь осознать причастность каждого из нас к общему потоку жизни, показать место человека в этом потоке и его ответственность за то, чтобы жизнь не прерывалась.

Авторы надеются, что эта книга послужит основой для дальнейшего более углубленного изучения эволюционной теории, вопросов происхождения и развития жизни, антропогенеза, эволюции биосферы в целом.

Данный факультатив предусматривает работу с дополнительной литературой, проведение бесед и дискуссий, ознакомление с методами научного исследования: наблюдением, экспериментом, моделированием биологических явлений, решением познавательных задач. В конце книги помещены справочные материалы, практические задания, которые помогут более глубокому пониманию данного факультативного курса.

Глава I. МОЛЕКУЛЯРНЫЕ, ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ И ИЗМЕНЧИВОСТИ

Издавна человек стремился узнать, почему от каждого живого организма рождается ему подобный, почему при этом не отмечается абсолютной схожести родителей и потомства ни в физических признаках, ни в характере. Теперь очевидно, что схожесть родителей и потомков организмов одного вида определяется *наследственностью*, т. е. способностью организмов проявлять в ряду поколений сходные признаки и свойства. Отличительные особенности организмов определяются *изменчивостью* — способностью организмов приобретать новые признаки в пределах вида. Два свойства — наследственность и изменчивость характерны не только для человека, но и для всего живого на Земле. Изучением этих важнейших свойств занимается наука *генетика*. Значительный вклад в раскрытие сущности и механизмов наследственности и изменчивости внесли *молекулярная биология* и *цитология* (наука о клетке).

Рассматриваемые в данной главе сведения подготавливают к сознательному восприятию, более глубокому пониманию движущих сил, направлений и результатов эволюционного процесса.

КЛЕТКА — ЭЛЕМЕНТАРНАЯ СТРУКТУРНАЯ ЕДИНИЦА ЖИЗНИ

Клетка — самая мелкая единица живого, лежащая в основе строения и развития растительных и животных организмов нашей планеты. Она представляет собой элементарную живую систему, способную к самообновлению, саморегуляции, самовоспроизведению.

Хотя отдельная клетка представляет собой наиболее простую форму жизни, строение ее достаточно сложно. Достижения цитологии позволили проникнуть в глубинные механизмы строения и функции клетки. Мощным средством ее изучения служит электронный микроскоп, дающий увеличение до 1 000 000 раз и позволяющий рассматривать объекты в 200 нм. Напомним, что с помощью светового микроскопа можно изучать структуры

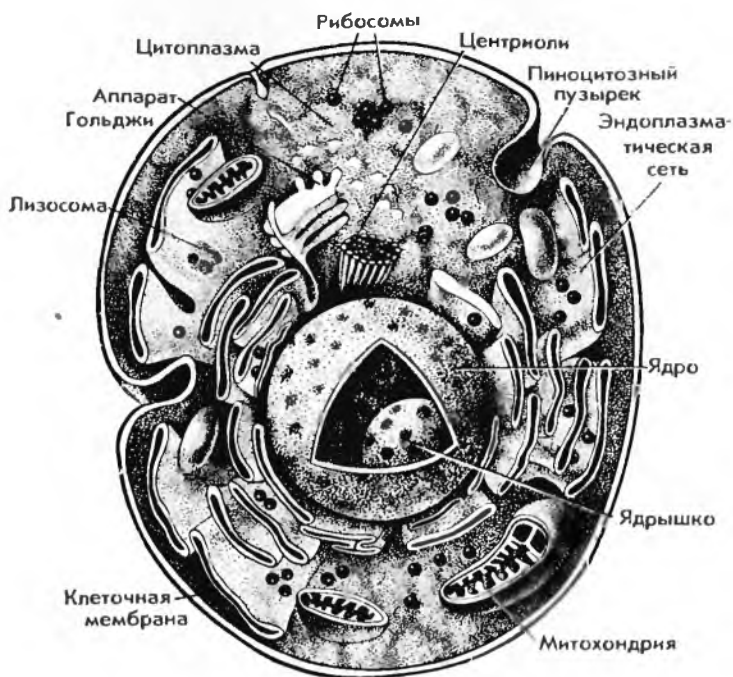


Рис. 1. Животная клетка под электронным микроскопом

размером лишь около 0,4 мкм. Если сравнить разрешающие способности микроскопов и человеческого глаза, то световой в 500 раз сильнее глаза, а электронный в 500 раз сильнее светового микроскопа.

Помимо электронного микроскопа, в цитологии используется ряд биохимических и биофизических методов исследования, помогающих изучению состава и жизнедеятельности клетки. Живая клетка отграничена от окружающей среды наружной плазматической мембраной, состоящей из трех (белково-липидных) слоев. В самой клетке находятся ядро и цитоплазма. Ядро от цитоплазмы отграничено также трехслойной плазматической мембраной (рис. 1).

Цитоплазма. Цитоплазма представляет собой полужидкую слизистую бесцветную массу, содержащую 75—85% воды, 10—12% белков и аминокислот, 4—6% углеводов, 2—3% жиров и липидов, 1% неорганических и других веществ. Цитоплазматическое содержимое клетки способно двигаться, что способствует оптимальному размещению органоидов, лучшему протеканию биохимических реакций, выделению продуктов обмена и т. д. Слой цитоплазмы формирует разные образования: реснички, жгутики, поверхностные выросты. Последние играют важную роль в движении и соединении клеток между собой в ткани.

Цитоплазма пронизана сложной сетчатой системой, связанной с наружной плазматической мембраной и состоящей из сообщающихся между собой канальцев, пузырьков, уплощенных мешочков. Такая сетчатая структура названа *вакуолярной системой*. Основными компонентами вакуолярной системы служат *эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, ядерная мембрана*.

Эндоплазматическая сеть (ЭПС). Название этого органоида отражает место расположения его в центральной части цитоплазмы (греч. *эндон* — *внутри*). ЭПС представляет собой очень разветвленную взаимосвязанную систему канальцев, трубочек, пузырьков, цистерн разной величины и формы, отграниченных мембранами от цитоплазмы клетки. Она бывает двух видов: *гранулярная*, состоящая из канальцев и цистерн, поверхность которых усеяна зернышками (гранулами), и *агранулярная*, т. е. *гладкая* (без гран). Граны в эндоплазматической сети не что иное, как рибосомы. Интересно, что в клетках зародышей животных наблюдается в основном гранулярная ЭПС, а у взрослых форм — агранулярная. Зная, что рибосомы в цитоплазме служат местом синтеза белка, можно предположить, что гранулярная сеть преобладает в клетках, активно синтезирующих белок. Считают, что агранулярная сеть в большей степени представлена в тех клетках, где идет активный синтез липидов (жиров и жироподобных веществ).

Оба вида эндоплазматической сети не только участвуют в синтезе органических веществ, но и накапливают и транспортируют их к местам назначения, регулируют обмен веществ между клеткой и окружающей ее средой.

Рибосомы. Рибосомы — немембранные клеточные органоиды, состоящие из рибонуклеиновой кислоты и белка. Их внутреннее строение во многом еще остается загадкой. В электронном микроскопе они имеют вид округлых или грибовидных гранул. Каждая рибосома разделена желобком на большую и меньшую части (субъединицы). Часто несколько рибосом объединяются нитью специальной рибонуклеиновой кислоты (РНК), называемой *информационной* (и-РНК). Рибосомы осуществляют уникальную функцию синтеза белковых молекул из аминокислот.

Комплекс Гольджи. Продукты биосинтеза поступают в просветы полостей и канальцев ЭПС, где они концентрируются и транспортируются в специальный аппарат — комплекс Гольджи, расположенный вблизи ядра. Комплекс Гольджи участвует в транспорте продуктов биосинтеза к поверхности клетки и в выведении их из клетки, в формировании лизосом и т. д.

Лизосомы. *Лизосомы* (от греч. *лизео* — *растворяю* и *сома* — *тело*). Это органоиды клетки овальной формы, окруженные однослойной мембраной. В них находится набор ферментов, которые разрушают белки, углеводы, липиды. В случае повреждения лизосомной мембраны ферменты начинают расщеплять и разрушать внутреннее содержимое клетки, и она погибает.

Клеточный центр. *Клеточный центр* можно наблюдать в клетках, способных делиться. Он состоит из двух палочковидных тел — *центриолей*. Находясь около ядра и аппарата Гольджи, клеточный центр участвует в процессе деления клетки, в образовании *веретена деления*.

Энергетические органоиды. *Митохондрии* (греч. митос — нить, хондрион — *гранула*) называют энергетическими станциями клеток. Такое название обуславливается тем, что именно в митохондриях происходит извлечение энергии, заключенной в питательных веществах. Форма митохондрий изменчива, но чаще всего они имеют вид нитей или гранул. Размеры и число их также непостоянны и зависят от функциональной активности клетки.

На электронных микрофотографиях видно, что митохондрии состоят из двух мембран: наружной и внутренней. Внутренняя мембрана образует выросты, называемые *кристами*, которые сплошь устланы ферментами. Наличие крист увеличивает общую поверхность митохондрий, что важно для активной деятельности ферментов. На кристах происходят ферментативные реакции, в результате которых из фосфата и АДФ (аденозиндифосфата) синтезируется богатое энергией (макроэргическое) вещество АТФ (аденозинтрифосфат). Последнее служит основным источником энергии для всех внутриклеточных процессов.

В митохондриях обнаружены свои специфические ДНК и рибосомы. В связи с этим они самостоятельно размножаются при делении клетки.

Хлоропласты — по форме напоминают диск или шар с двойной оболочкой — наружной и внутренней. Внутри хлоропласта также имеются ДНК, рибосомы и особые мембранные структуры — *граны*, связанные между собой и внутренней мембраной хлоропласта. В мембранах гран и находится *хлорофилл*. Благодаря хлорофиллу в хлоропластах происходит превращение энергии солнечного света в химическую энергию АТФ. Энергия АТФ используется в хлоропластах для синтеза углеводов из углекислого газа и воды.

Ядро. *Ядро* — самый заметный и самый большой органоид клетки, который первым привлек внимание исследователей. Ядро отделено от цитоплазмы двойной мембраной, которая непосредственно связана с ЭПС и комплексом Гольджи. На *ядерной мембране* обнаружены *поры*, через которые (как и через наружную цитоплазматическую мембрану) одни вещества проходят легче, чем другие, т. е. поры обеспечивают избирательную проницаемость мембраны.

Внутреннее содержимое ядра составляет *ядерный сок*, заполняющий пространство между структурами ядра. В ядре всегда присутствует одно или несколько *ядрышек*. В ядрышке образуются рибосомы. Поэтому между активностью клетки и размером ядрышек существует прямая связь: чем активнее протекают процессы биосинтеза белка, тем крупнее ядрышки и наоборот, в клет-

ках, где синтез белка ограничен, ядрышки или очень невелики, или совсем отсутствуют.

В ядре находятся также молекулы ДНК, соединенные со специфическими белками — *гистонами*. В процессе деления клетки — митоза — эти нуклеопротеиды спирализуются и представляют собой плотные образования — *хромосомы*, хорошо различимые в световом микроскопе. ДНК хромосом содержит наследственную информацию о всех признаках и свойствах данной клетки, о процессах, которые должны протекать в ней (например, синтез белка). Кроме того, в ядре осуществляется синтез и-РНК, которая после транспортировки в цитоплазму играет существенную роль в передаче информации для синтеза белковых молекул.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. В чем причины сходства и различия животных и растительных клеток?
2. Какова связь между рибосомами и эндоплазматической сетью?
3. Почему митохондрии образно называют «силовыми станциями» клеток?
4. Приведите примеры взаимосвязи строения клеточных органоидов с выполняемыми ими функциями.
5. Почему ядро играет центральную роль в явлениях наследственности?

БЕЛКИ — БИОПОЛИМЕРЫ

В основе жизнедеятельности клетки лежат биохимические процессы, протекающие на молекулярном уровне и служащие предметом изучения биохимии. Соответственно и явления наследственности и изменчивости тоже связаны с молекулами органических веществ, и в первую очередь с нуклеиновыми кислотами и белками.

Состав белков. Белки представляют собой большие молекулы, состоящие из сотен и тысяч элементарных звеньев — *аминокислот*. Такие вещества, состоящие из повторяющихся элементарных звеньев — *мономеров*, называются *полимерами*. Соответственно белки можно назвать полимерами, мономерами которых служат аминокислоты.

Всего в живой клетке известно 20 видов аминокислот. Название аминокислоты получили из-за содержания в своем составе аминной группы NH_2 , обладающей основными свойствами, и карбоксильной группы COOH , имеющей кислотные свойства. Все аминокислоты имеют одинаковую группу $\text{NH}_2\text{—CH—COOH}$ и отличаются друг от друга химической группой, называемой радикалом — R. Соединение аминокислот в полимерную цепь происходит благодаря образованию пептидной связи (CO—NH) меж-

ду карбоксильной группой одной аминокислоты и аминогруппой другой аминокислоты. При этом выделяется молекула воды. Если образовавшаяся полимерная цепь короткая, она называется *олигопептидной*, если длинная — *полипептидной*.

Строение белков. При рассмотрении строения белков выделяют первичную, вторичную, третичную структуры.

Первичная структура определяется порядком чередования аминокислот в цепи. Изменение в расположении даже одной аминокислоты ведет к образованию совершенно новой молекулы белка. Число белковых молекул, которое образуется при сочетании 20 разных аминокислот, достигает астрономической цифры.

Если бы большие молекулы (макромолекулы) белка располагались в клетке в вытянутом состоянии, они занимали бы в ней слишком много места, что затруднило бы жизнедеятельность клетки. В связи с этим молекулы белка скручиваются, изгибаются, свертываются в самые различные конфигурации. Так на основе первичной структуры возникает *вторичная структура* — белковая цепь укладывается в спираль, состоящую из равномерных витков. Соседние витки соединены между собой слабыми водородными связями, которые при многократном повторении придают устойчивость молекулам белков с этой структурой.

Спираль вторичной структуры укладывается в клубок, образуя *третичную структуру*. Форма клубка у каждого вида белков строго специфична и полностью зависит от первичной структуры, т. е. от порядка расположения аминокислот в цепи. Третичная структура удерживается благодаря множеству слабых электростатических связей: положительно и отрицательно заряженные группы аминокислот притягиваются и сближают даже далеко отстоящие друг от друга участки белковой цепи. Сближаются и иные участки белковой молекулы, несущие, например, гидрофобные (водоотталкивающие) группы.

Некоторые белки, например гемоглобин, состоят из нескольких цепей, различающихся по первичной структуре. Объединяясь вместе, они создают сложный белок, обладающий не только третичной, но и *четвертичной структурой* (рис. 2).

В структурах белковых молекул наблюдается следующая закономерность: чем выше структурный уровень, тем слабее поддерживающие их химические связи. Связи, образующие четвертичную, третичную, вторичную структуру, крайне чувствительны к физико-химическим условиям среды, температуре, радиации и т. д. Под их воздействием структуры молекул белков разрушаются до первичной — исходной структуры. Такое нарушение природной структуры белковых молекул называется *денатурацией*. При удалении денатурирующего агента многие белки способны самопроизвольно восстанавливать исходную структуру. Если же природный белок подвергается действию высокой температуры или интенсивному действию других факторов, то он необратимо денатурируется. Именно фактом наличия необратимой денатура-

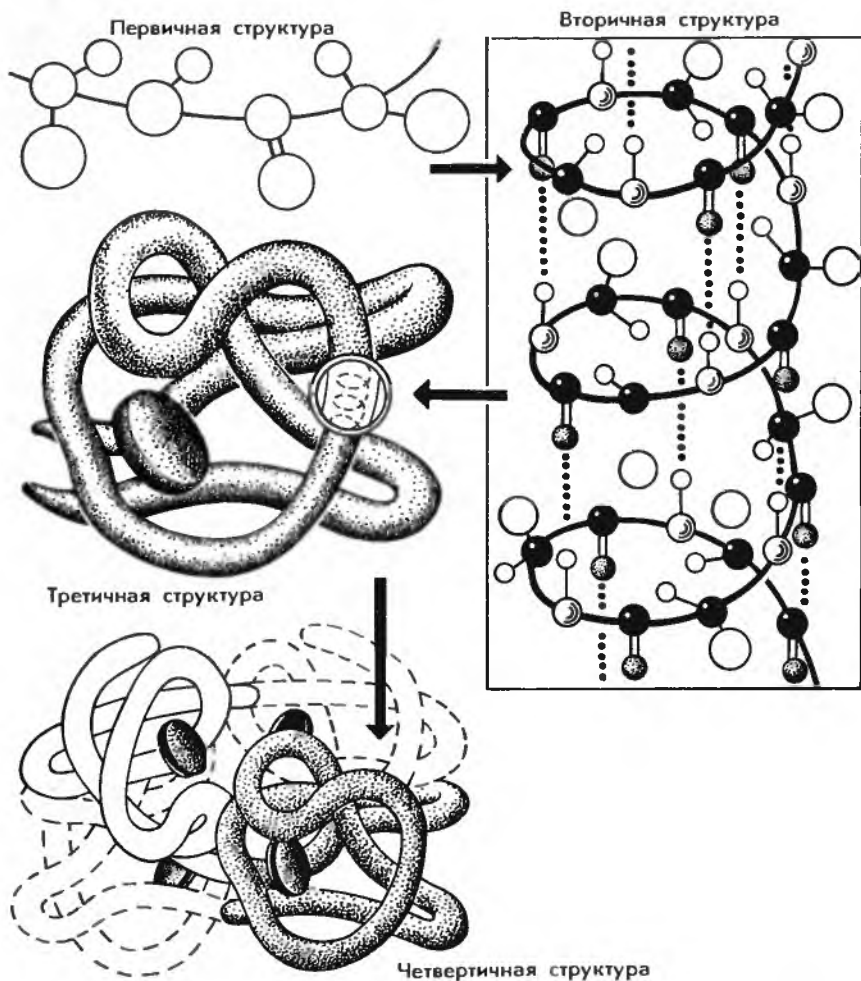


Рис. 2. Схема строения белковой молекулы

ции белков клеток объясняется невозможность жизни в условиях очень высокой температуры.

Биологическая роль белков в клетке. Белки, называемые также *протеинами* (греч. протос — *первый*), в клетках животных и растений выполняют многообразные и очень важные функции, к которым можно отнести следующие.

Каталитическая. Природные катализаторы — *ферменты* представляют собой полностью или почти полностью белки. Благодаря ферментам химические процессы в живых тканях ускоряются в сотни тысяч или в миллионы раз. Под их действием все процессы идут мгновенно в «мягких» условиях: при нормальной темпе-

ратуре тела, в нейтральной для живой ткани среде. Быстродействие, точность и избирательность ферментов несопоставимы ни с одним из искусственных катализаторов. Например, одна молекула фермента за одну минуту осуществляет реакцию распада 5 млн. молекул пероксида водорода (H_2O_2). Ферментам характерна избирательность. Так, жиры расщепляются специальным ферментом, который не действует на белки и полисахариды (крахмал, гликоген). В свою очередь, фермент, расщепляющий только крахмал или гликоген, не действует на жиры.

Процесс расщепления или синтеза любого вещества в клетке, как правило, разделен на ряд химических операций. Каждую операцию выполняет отдельный фермент. Группа таких ферментов составляет биохимический конвейер.

Считают, что каталитическая функция белков зависит от их третичной структуры, при ее разрушении каталитическая активность фермента исчезает.

Защитная. Некоторые виды белков защищают клетку и в целом организм от попадания в них болезнетворных микроорганизмов и чужеродных тел. Такие белки носят название *антител*. Антитела связываются с чужеродными для организма белками бактерий и вирусов, что подавляет их размножение. На каждый чужеродный белок организм вырабатывает специальные «анти-белки» — антитела. Такой механизм сопротивления возбудителям заболеваний называется *иммунитетом*.

Чтобы предупредить заболевание, людям и животным вводят ослабленные или убитые возбудители (вакцины), которые не вызывают болезнь, но заставляют специальные клетки организма производить антитела против этих возбудителей. Если через некоторое время болезнетворные вирусы и бактерии попадают в такой организм, они встречают прочный защитный барьер из антител.

Гормональная. Многие гормоны также представляют собой белки. Наряду с нервной системой гормоны управляют работой разных органов (и всего организма) через систему химических реакций.

Отражательная. Белки клетки осуществляют прием сигналов, идущих извне. При этом различные факторы среды (температурный, химический, механический и др.) вызывают изменения в структуре белков — обратимую денатурацию, которая, в свою очередь, способствует возникновению химических реакций, обеспечивающих ответ клетки на внешнее раздражение. Эта способность белков лежит в основе работы нервной системы, мозга.

Двигательная. Все виды движений клетки и организма: мерцание ресничек у простейших, сокращение мышц у высших животных и другие двигательные процессы — производятся особым видом белков.

Энергетическая. Белки могут служить источником энергии для клетки. При недостатке углеводов или жиров окисляются моле-

кулы аминокислот. Освободившаяся при этом энергия используется на поддержание процессов жизнедеятельности организма.

Транспортная. Белок гемоглобин крови способен связывать кислород воздуха и транспортировать его по всему телу. Эта важнейшая функция свойственна и некоторым другим белкам.

Пластическая. Белки — основной строительный материал клеток (их мембран) и организмов (их кровеносных сосудов, нервов, пищеварительного тракта и др.). При этом белки обладают индивидуальной специфичностью, т. е. в организмах отдельных людей содержатся некоторые, характерные лишь для него, белки.

Таким образом, белки — это важнейший компонент клетки, без которого невозможно проявление свойств жизни. Однако воспроизведение живого, явление наследственности, как мы увидим позже, связано с молекулярными структурами нуклеиновых кислот. Это открытие — результат новейших достижений биологии. Теперь известно, что живая клетка обязательно обладает двумя видами полимеров — белками и нуклеиновыми кислотами. В их взаимодействии заключены самые глубокие стороны явления жизни.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Какова структура белковой молекулы?
2. Чем объясняется многообразие белков?
3. К чему может привести замена одной аминокислоты в молекуле белка на другую аминокислоту?
4. Чем отличаются биологические катализаторы-ферменты от химических?
5. Объясните, почему пересаженные от одного организма ткани или органы подвергаются отторжению.

НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ

Молекула ДНК — дезоксирибонуклеиновая кислота была открыта в клеточных ядрах еще в 1868 г. швейцарским врачом И. Ф. Мишером. Позднее узнали, что ДНК находится в хромосомах ядра. Но долгое время ДНК не привлекала внимание ученых, предполагавших, что это генетический материал, играющий, видимо, второстепенную структурную роль.

Вещество наследственности. Первые доказательства того, что ДНК заслуживает серьезного внимания, были получены в 1944 г. американскими бактериологами во главе с О. Эвери. Он много лет изучал пневмококки — микроорганизмы, вызывающие воспаление легких (пневмонию). О. Эвери смешивал два вида пневмококков, один из которых вызывал заболевание, а другой — нет. Предварительно болезнетворные клетки убивали и затем добавляли к ним пневмококки, которые не вызывали заболе-

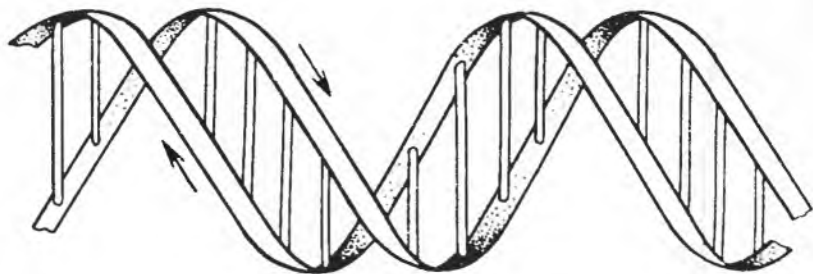


Рис. 3. Молекула ДНК

вания. Результаты опытов были удивительными: некоторые из живых клеток после контакта с убитыми «научились» вызывать болезнь. О. Эвери удалось выяснить природу вещества, участвующего в процессе передачи информации от мертвых клеток к живым. Им оказалась ДНК. В настоящее время опыты О. Эвери считаются первым в истории генетики доказательством, что вещество наследственности, или гены, и есть молекула ДНК. Но в то время О. Эвери лишь изложил наблюдаемые факты, однако не смог их осмыслить теоретически.

Только спустя 9 лет, в 1953 г., никому тогда не известные Ф. Крик и Д. Уотсон, научные сотрудники Кавендишской лаборатории в Кембридже, поразили мир сенсацией. Им удалось построить модель ДНК. Оказалось, что изучить ее структуру очень трудно: огромные молекулы разрушались, едва к ним прикасались, плохо кристаллизировались. Тогда Ф. Крик и Д. Уотсон использовали данные о химическом строении отдельных звеньев — мономеров ДНК, полученные английскими учеными М. Уилкинсом и Р. Франклином. Из отдельных элементов они стали собирать модель, максимально соответствующую картине, отображенной рентгеноструктурным анализом. В результате этой трудоемкой работы у них сложилась модель молекулы, состоящей из двух полимерных цепочек, закрученных одна вокруг другой с образованием двойной спирали (рис. 3).

Логическое совершенство модели Уотсона — Крика. Модель Уотсона — Крика сразу убедила большинство ученых. Согласно этой модели каждая из цепочек молекулы ДНК состоит из четырех типов мономеров — *нуклеотидов*. В свою очередь, в состав нуклеотидов входят три компонента, соединенные прочными химическими связями: 1) *азотистое основание*, 2) *углевод* (дезоксирибоза), 3) *остаток фосфорной кислоты*. Азотистые основания — это пурины, имеющие двойное углеродно-азотное кольцо, и пиримидины, имеющие одно такое кольцо. Пурины представлены аденином (А) и гуанином (Г), пиримидины — тимин (Т) и цитозин (Ц).

В состав каждого нуклеотида входит одно из азотистых осно-

ваний. Соответственно содержащемуся азогистому основанию нуклеотиды и получили название: *адениловый, гуаниловый, тимидиловый, цитозиловый*.

За счет фосфорной кислоты при определенных условиях нуклеотиды могут соединяться друг с другом обычными химическими связями, образуя нуклеиновые кислоты. В одной молекуле ДНК может содержаться несколько десятков тысяч нуклеотидов, последовательность расположения которых определяет ее первичную структуру (рис. 4).

Существенная особенность нуклеотидного состава ДНК — равенство количеств пуриновых и пиримидиновых оснований: число адениловых нуклеотидов равно количеству тимидиловых, а количество гуаниловых равно числу цитидиловых (**А=Т; Г=Ц**). Причина эквивалентности пуриновых и пиримидиновых оснований в молекуле ДНК заключается в том, что те и другие являются комплементарными (от лат. *комплементум* — *дополнение*). Обе цепи ДНК соединены водородными связями и как бы дополняют друг друга. Всегда напротив **А** должно быть **Т** другой цепи, а напротив **Т** — **А**. Точно так же **Г** обязательно «требует» **Ц**, а **Ц** всегда **Г**.

Модель строения молекулы ДНК, предложенная Уотсоном — Криком, полностью подтвердилась экспериментально и сыграла исключительно важную роль в развитии молекулярной биологии и генетики.

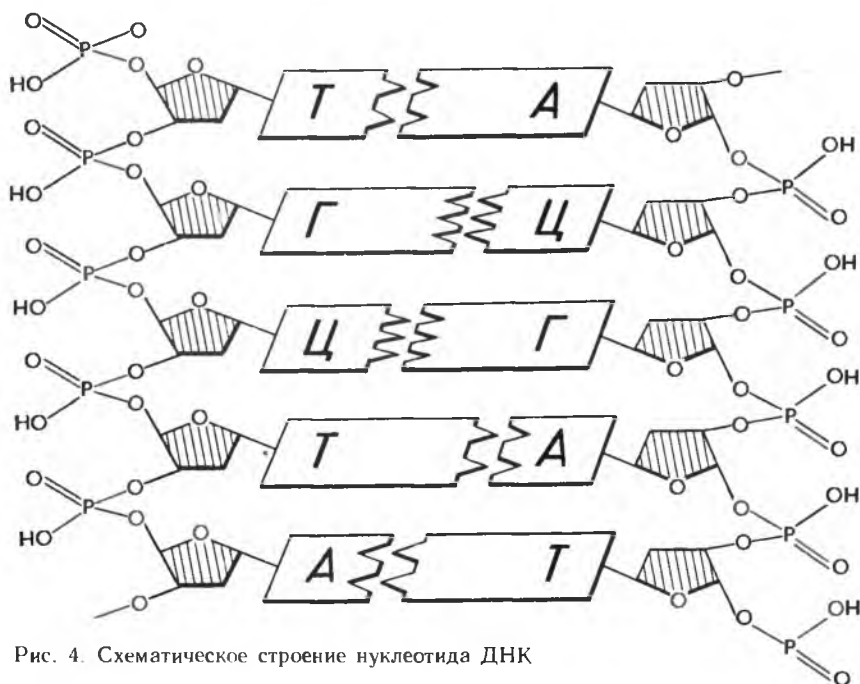


Рис. 4. Схематическое строение нуклеотида ДНК

Интересно, что спираль — самая распространенная форма во Вселенной, от атомов до галактик. Неслучайно, что и молекула ДНК имеет форму двойной спирали. Эта форма исключительно выгодна в тесноте микромира. У некоторых растений длина молекул ДНК достигает 40 м и заключается в клеточном ядре размером несколько микрон. Такая компактность упаковки достигается путем плотного закручивания двойной спирали, отдельные витки ее сцеплены друг с другом как зубы молнии.

Функции ДНК. Открытие принципа комплементарности стало поистине ключом к познанию явлений наследственности. Долго мучившая всех загадка, как именно удваивается ген, решалась изящно и просто. Ген — участок молекулы ДНК. Под действием ферментов молекула ДНК частично раскручивается и к каждой нити ДНК притягиваются свободные нуклеотиды, ранее синтезированные в цитоплазме. Новые нуклеотиды комплементарно присоединяются к исходной цепи, играющей роль штампа, или матрицы. В результате из одной молекулы ДНК получаются две абсолютно ей идентичные.

Основная функция ДНК — *информационная*: порядок расположения ее четырех нуклеотидов несет важную информацию — определяет порядок расположения аминокислот в линейных молекулах белков, т. е. их первичную структуру. Набор белков (ферментов, гормонов) определяет свойства клетки и организма. Молекулы ДНК хранят сведения об этих свойствах и передают их в поколения потомков, т. е. ДНК является носителем наследственной информации.

РНК. РНК — *рибонуклеиновая кислота* очень похожа на ДНК и тоже построена из мономерных нуклеотидов четырех типов. Только в состав РНК вместо тимидинового нуклеотида входит похожий на него уридиловый — **У** (с азотистым основанием урацил), **У**, как и **Т**, всегда — в паре с **А**. Кроме того, в состав нуклеотидов РНК входит сахар — рибоза (отсюда и название РНК). Но главное отличие РНК от ДНК — одинарная, а не двойная цепочка молекулы.

Различают несколько видов РНК, все они принимают участие в реализации наследственной информации, хранящейся в молекулах ДНК, через синтез белка.

АТФ. Очень важную роль в биоэнергетике клетки играет адениловый нуклеотид, к которому присоединены два остатка фосфорной кислоты. Такое вещество называют *аденозинтрифосфорной кислотой* (АТФ). АТФ — универсальный биологический аккумулятор энергии: световая энергия Солнца и энергия, заключенная в потребляемой пище, запасается в молекулах АТФ. Остатки фосфорной кислоты соединяются друг с другом и адениловым нуклеотидом двумя макроэргическими (богатыми энергией) связями. Отщепление одного остатка от молекулы АТФ сопровождается освобождением значительного количества энергии; в ре-

зультате образуется остаток молекулы АТФ — аденозиндифосфат (АДФ) и органический фосфат: $АТФ \rightarrow АДФ + Ф + Е$.

Энергию АТФ (Е) все клетки используют для процессов биосинтеза, движения нервных импульсов, свечений и других процессов жизнедеятельности.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Каковы строение и функции ДНК?
2. Фрагмент одной цепи молекулы ДНК состоит из следующих нуклеотидов: **А — Т — Ц — Г — Ц — Ц — Т — А — А — Г**. Напишите схему строения другой цепи.
3. В молекуле ДНК адениловых нуклеотидов насчитывается 23% от общего числа нуклеотидов. Определите количество тимидиловых и цитидиловых нуклеотидов.
4. Сравните ДНК и РНК.
5. Сравните общую длину ДНК и общее количество нуклеотидов у бактерии, мухи дрозофилы, человека:

Сравниваемые данные	Бактерия	Ядро половой клетки дрозофилы	Ядро половой клетки человека
Длина молекулы ДНК	0,068 мм	68 мм	102 см
Число нуклеотидов	20 млн. пар	200 млн. пар	3 млрд. пар

О чем свидетельствуют приведенные данные?

НАСЛЕДСТВЕННАЯ ИНФОРМАЦИЯ И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ В КЛЕТКЕ

Возникнув из модели Уотсона — Крика, молекулярная биология не только объяснила непонятное прежде, но и породила новые загадки, поставила новые вопросы, относящиеся к самым сокровенным процессам жизни. Первым и самым важным был вопрос о механизме синтеза белков в клетке. Сходство и различие организмов определяются в своей основе набором белков. Белки построены из 20 аминокислот. Виды животных, растений отличаются друг от друга последовательностью аминокислот в белковых цепях. Так что же определяет эту последовательность? Где и как составляется ее программа?

ДНК — матрица для синтеза белков. Любая книга издается тиражом n экземпляров. Все n экземпляров одной книги совершенно одинаковы, так как отпечатаны с одного шаблона — типографской матрицы. Если бы в матрице была допущена ошибка, то она была бы воспроизведена во всех экземплярах.

В клетках живых организмов роль матрицы выполняют молекулы ДНК. В ДНК заключена информация о всех белках клет-

ки, а следовательно, о всех признаках клетки и организма в целом.

Каждый белок представлен одной или несколькими биополимерными цепями. Участок молекулы ДНК, служащий матрицей для синтеза одной цепи белка, называется *геном*. Поэтому информация, которую содержит ДНК, называется *генетической*. Ген — часть ДНК, состоящая из сотен нуклеотидов. Неделимыми элементарными частицами ДНК являются только отдельные нуклеотиды.

Образование и-РНК на матрице ДНК. ДНК находится в ядре клетки, а синтез белка происходит в рибосомах, расположенных в цитоплазме. Каким образом заключенная в ДНК информация передается в место синтеза белка? Эту функцию осуществляет посредник — *информационная РНК (и-РНК)*, способная пройти через поры ядерной мембраны. По длине каждая из молекул и-РНК в сотни раз короче ДНК, и-РНК снимает копию не всей молекулы ДНК, а только одного гена или группы рядом лежащих генов, несущих информацию о структуре белков, необходимых для выполнения одной функции. Синтез — формирование РНК идет на одной из цепей гена (рис. 5). Специальный фермент —

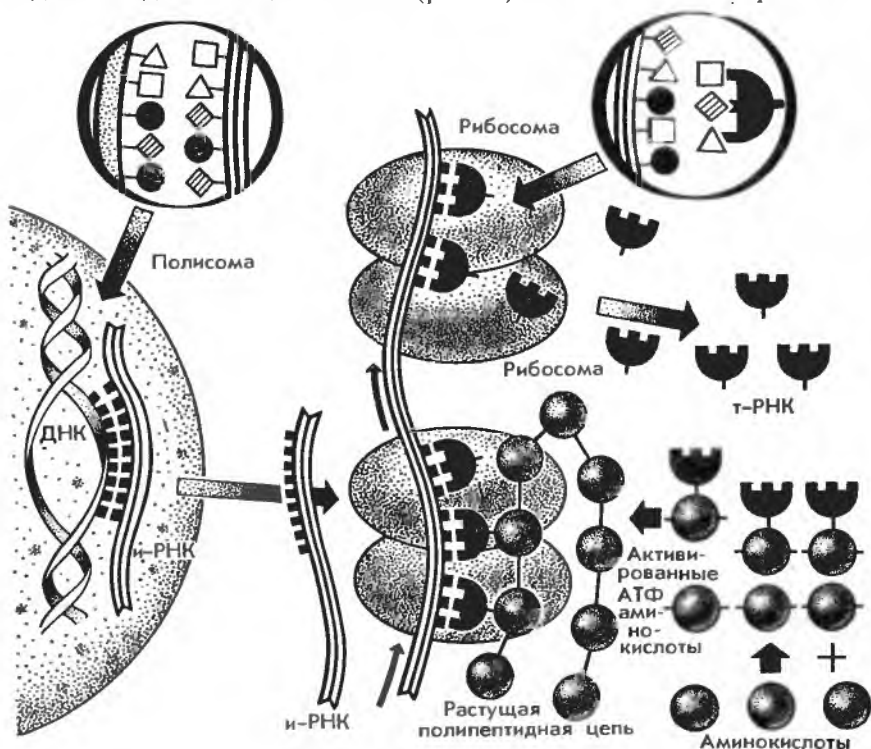


Рис. 5. Схема биосинтеза белка

полимераза, двигаясь по ДНК, подбирает по принципу комплементарности нуклеотиды и соединяет их в единую цепочку. Если в нити ДНК стоит гуанин, то полимераза включает в цепь и-РНК цитозин. Если стоит тимин — включает аденин, если аденин, — то урацил (в состав РНК не входит тимин!). Этот этап синтеза белка носит название *транскрипции* (от лат. транскрипцио — *переписывание*). (Термин взят из музыки и означает переложение, обработку сочинения, написанного композитором для одного инструмента, на другой инструмент.)

Фермент полимераза узнает последовательность нуклеотидов в промежутке между генами и, двигаясь вдоль нужного ему гена, снимает с него точную копию в виде молекулы и-РНК. В конце группы генов фермент встречает сигнал (также в виде определенной последовательности нуклеотидов), означающий конец переписывания. Готовая и-РНК отходит от ДНК, покидает ядро и направляется к месту синтеза белков — рибосоме.

Генетический код и его свойства. Суть генетического кода заключается в том, что последовательность расположения нуклеотидов в и-РНК определяет последовательность расположения аминокислот в белках. Носителем генетической информации является ДНК, но так как непосредственное участие в синтезе белка принимает и-РНК, то генетический код записан на «языке» РНК.

Зная, что аминокислот всего 20, а нуклеотидов 4, можно подсчитать, что 4 нуклеотидов явно недостаточно для кодирования 20 аминокислот. Недостаточно также и кода из 2 нуклеотидов на каждую аминокислоту ($4^2 = 16$). Очевидно, что для кодирования 20 аминокислот необходимы группы по меньшей мере из 3 нуклеотидов ($4^3 = 64$). Подобная группа из 3 нуклеотидов, несущая информацию об одной аминокислоте в молекуле белка, называется *кодоном* (триплетом). Понятно, что в гене столько кодонов, сколько аминокислот входит в состав данного синтезируемого белка.

Интересно, что одной аминокислоте зачастую соответствует несколько кодонов. Например, глутаминовую кислоту кодируют триплеты ГАА и ГАГ. Такой код называется *вырожденным*. Наряду с этим обнаружилось, что некоторые кодоны не кодируют ни одну аминокислоту, их называют *бессмысленными*, они определяют границы генов в длинной цепи ДНК.

Код однозначен. Каждый триплет кодирует только одну аминокислоту. Например, триплет ААА кодирует только аминокислоту лизин, а триплет ГЦГ — аланин.

Код универсален — един для всех живущих на Земле существ.

Что если бы код изменился? Допустим, всего в одном кодоне один нуклеотид заменился другим. Это означает, что данный кодон стал соответствовать совсем другой аминокислоте. Каждый кодон встречается не в одном, а во многих генах, и со всех генов начнет считываться неточная информация, будут синтезироваться

белки с неправильной аминокислотой. А замена даже одной аминокислоты в молекуле белка изменяет его первичную структуру, что, в свою очередь, приводит к нарушению свойств белка и может быть причиной гибели организма.

Роль т-РНК в синтезе белка. Необходимое «сырье» для биосинтеза белка — различные аминокислоты в достаточном количестве имеются в цитоплазме клетки. Доставляются аминокислоты в рибосомах молекулами *транспортной РНК (т-РНК)*. По сравнению с и-РНК т-РНК небольшие и состоят всего из 70—90 нуклеотидов. Количество разновидностей молекул т-РНК равно числу аминокислот. Каждой аминокислоте соответствует определенная т-РНК: аминокислота валин транспортируется валиновой т-РНК, глицин — глициновой т-РНК и т. д.

Небольшие молекулы т-РНК способны сворачиваться таким образом, что напоминают по форме лист клевера. На «вершине» каждого «листа» т-РНК имеется *антикодон* — триплет нуклеотидов, комплементарных нуклеотидам кодона в и-РНК. Специальный фермент «узнает» антикодон и присоединяет к «основанию листа» т-РНК соответствующую аминокислоту. Затем т-РНК с аминокислотой поступает в рибосому, где играет роль переводчика с «языка» нуклеотидов на «язык» аминокислот. Этот процесс носит название *трансляции — передачи*.

Синтез белка в рибосоме. Термин «трансляция» используют не только в телевидении, но и в работе электронно-вычислительных машин для обозначения перевода с одного языка программирования на другой — машинный язык. Образно говоря, рибосома — «фабрика» белка представляет собой молекулярную вычислительную машину клетки, переводящую тексты с нуклеотидного языка и-РНК на аминокислотный язык. Эта «молекулярная машина» работает только по одной, узко специализированной программе, содержащей генетический код.

Для того чтобы понять, как в рибосоме происходит трансляция, обратимся к рисунку 5. Рибосомы изображены в виде яйцевидных тел, нанизанных на и-РНК. Рибосома вступает на нитевидную молекулу и-РНК и передвигается по ней «шажками», с триплета на триплет. Сюда же, в рибосому, поступает т-РНК. Сначала кодон и-РНК «узнается» антикодоном т-РНК: к кодону и-РНК по правилу комплементарности присоединяется кодовым триплетом т-РНК, несущая «свою» аминокислоту. Затем доставленная аминокислота отрывается от т-РНК. После отдачи аминокислоты данная т-РНК покидает рибосому. На смену ей подходит другая т-РНК, с иной аминокислотой, которая составляет следующее звено в строящейся белковой цепи. Между аминокислотами возникает пептидная связь, и они соединяются друг с другом в той последовательности, в которой триплеты следуют один за другим.

По мере сборки белковой молекулы рибосома ползет по и-РНК. Когда рибосома продвинется вперед, с того же конца на и-РНК

входит вторая рибосома, третья, четвертая и т. д. Все они выполняют одну и ту же работу: каждая синтезирует один и тот же белок, запрограммированный на данной и-РНК. Когда рибосома достигает противоположного конца и-РНК, синтез завершается. Готовая цепь белка отходит от рибосомы и по эндоплазматической сети транспортируется в тот участок клетки, где требуется данный вид белка.

Рибосома вступает на другую любую и-РНК, на матрице которой синтезируется другой белок, и т. д. Аминокислоты бесперебойно поставляются к рибосомам с помощью т-РНК. Таким образом, генетическая информация, заключенная в ДНК, реализуется разными видами РНК в молекулах соответствующих белков.

В лабораторных условиях синтез белков требует огромного времени, усилий и средств. В клетке же синтез белковых молекул, состоящих из сотен и более аминокислот, осуществляется в течение нескольких секунд. Это объясняется в первую очередь матричным принципом синтеза нуклеиновых кислот и белков, обеспечивающим точную последовательность мономерных звеньев в синтезируемых полимерах. Если бы такие реакции происходили в результате случайного столкновения молекул, они протекали бы бесконечно медленно. Существенное влияние на быстроту и точность протекания всех реакций синтеза белка оказывают ферменты. С участием специальных ферментов происходит синтез ДНК, и-РНК, соединение аминокислот с т-РНК и т. д. Процесс белкового синтеза требует также больших затрат энергии. Так, на соединение каждой аминокислоты с т-РНК расходуется энергия одной молекулы АТФ. Можно представить, сколько молекул АТФ расщепляется в процессе синтеза среднего по размерам белка, состоящего из нескольких сотен аминокислот!

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Как вы понимаете фразу: «Молекулы ДНК — матрицы для синтеза белков»?
2. В чем сущность генетического кода? Каковы его основные свойства?
3. Начальная часть молекулы белка имеет следующую структуру: тирозин — цистеин — фенилаланин. Какие т-РНК (с какими антикодонами) участвуют в синтезе белка?
4. О чем говорит универсальность генетического кода (у вирусов бактерий, грибов, растений, животных и человека определенной аминокислоте соответствует один и тот же триплет нуклеотидов), всеобщий характер матричного принципа синтеза макромолекул?

Известный западногерманский биохимик Г. Шрамм, исходя из открытия молекулярной биологии о том, что наследственная информация зашифрована в молекулах ДНК, делает следующий

вывод: при наследовании передается только план (идея) того, как должно быть сформировано живое существо. А раз наследственная информация подобна идее, то она нематериальна. Поэтому переход к духовному начинается не с появления человека, а много раньше (на молекулярном уровне развития живого). Согласны ли вы с такой точкой зрения? Аргументируйте свой ответ.

ДЕЛЕНИЕ КЛЕТКИ. МИТОЗ

Наследственность как всеобщее свойство живых организмов тесно связана с другим важнейшим свойством живого — размножением. Благодаря размножению осуществляется преемственность между родительскими особями и их потомством. В основе размножения лежит процесс деления клеток.

Хромосомы: индивидуальность, парность, число. Во время деления клетки хорошо заметны хромосомы. При изучении хромосом разных видов живых организмов было обнаружено, что их набор строго индивидуален. Это касается числа, формы, черт строения и величины хромосом. Набор хромосом в клетках тела, характерный для данного вида растений, животных, называется *кариотипом* (рис. 6).

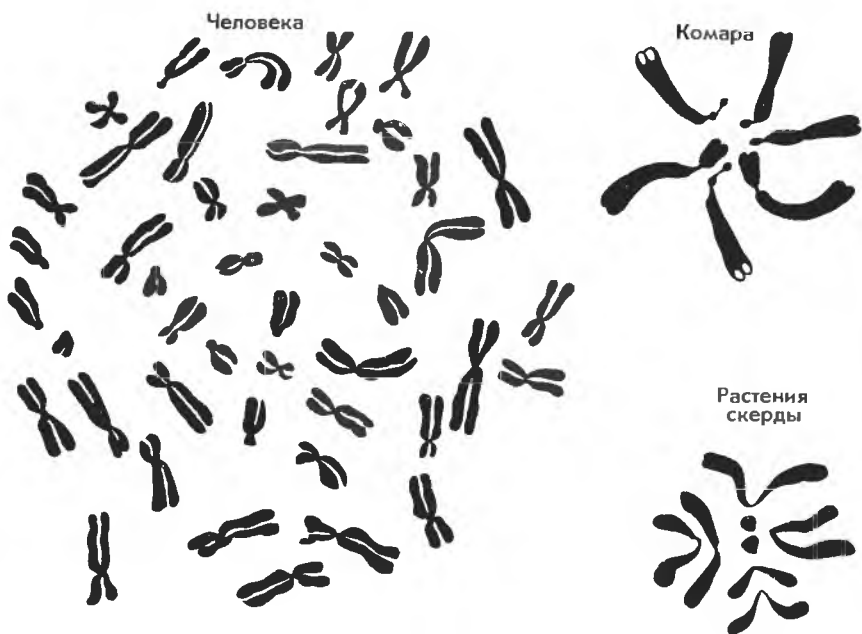


Рис. 6. Диплоидный набор хромосом в клетках

В любом многоклеточном организме существует два вида клеток — *соматические* (клетки тела) и *половые клетки*, или *гаметы*. В половых клетках число хромосом в 2 раза меньше, чем в соматических. В соматических клетках все хромосомы представлены парами — такой набор называется *диплоидным* и обозначается $2n$. Парные хромосомы (одинаковые по величине, форме, строению) называются *гомологичными*.

В половых клетках каждая из хромосом находится в одинарном числе. Такой набор называется *гаплоидным* и обозначается n .

Митоз. Подготовка клетки к делению. Наиболее распространенным способом деления соматических клеток является *митоз*. Во время митоза клетка проходит ряд последовательных стадий, или фаз, в результате которых каждая дочерняя клетка получает такой же набор хромосом, какой был у материнской клетки.

Во время подготовки клетки к делению — в период *интерфазы* (период между двумя актами деления) число хромосом удваивается. Вдоль каждой исходной хромосомы из имеющихся в клетке химических соединений синтезируется ее точная копия. Удвоенная хромосома состоит из двух половинок — *хроматид*. Каждая из хроматид содержит одну молекулу ДНК. В период интерфазы в клетке происходит процесс биосинтеза белка, удваиваются также все важнейшие структуры клетки. Продолжительность интерфазы в среднем 10—20 ч. Затем наступает процесс деления клетки — митоз.

Фазы митоза. Во время митоза клетка проходит следующие четыре фазы: профаза, метафаза, анафаза, телофаза (рис. 7).

В *профазе* хорошо видны *центриоли* — органоиды, играющие определенную роль в делении дочерних хромосом. Центриоли делятся и расходятся к разным полюсам. От них протягиваются нити, образующие веретено деления, которое регулирует расхождение хромосом к полюсам делящейся клетки. В конце профазы ядерная оболочка распадается, исчезает ядрышко, хромосомы спирализуются и укорачиваются.

Метафаза характеризуется наличием хорошо видимых хромосом, располагающихся в экваториальной плоскости клетки. Каждая хромосома состоит из двух хроматид и имеет перетяжку — *центромеру*, к которой прикрепляются нити веретена деления. После деления центромеры каждая хроматида становится самостоятельной дочерней хромосомой.

В *анафазе* дочерние хромосомы расходятся к разным полюсам клетки.

В последней стадии — *телофазе* — хромосомы вновь раскручиваются и приобретают вид длинных тонких нитей. Вокруг них возникает ядерная оболочка, в ядре формируется ядрышко.

В процессе деления цитоплазмы все ее органоиды равномерно распределяются между дочерними клетками. Весь процесс митоза продолжается обычно 1—2 ч.

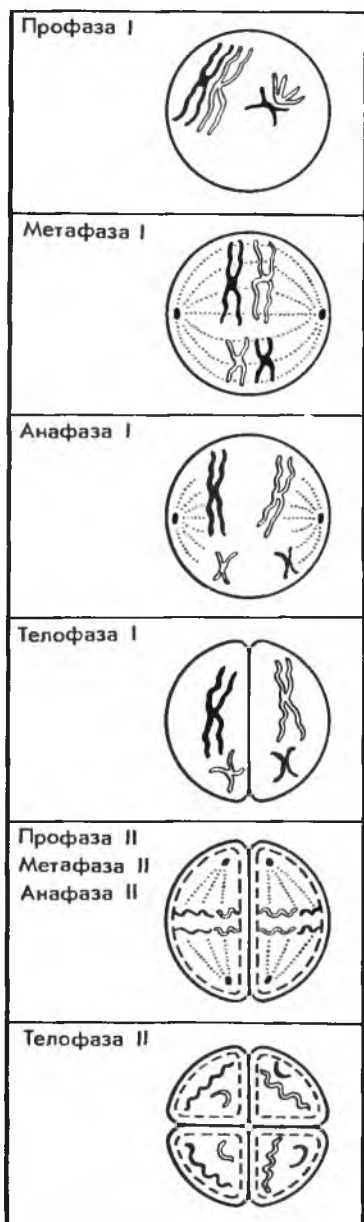
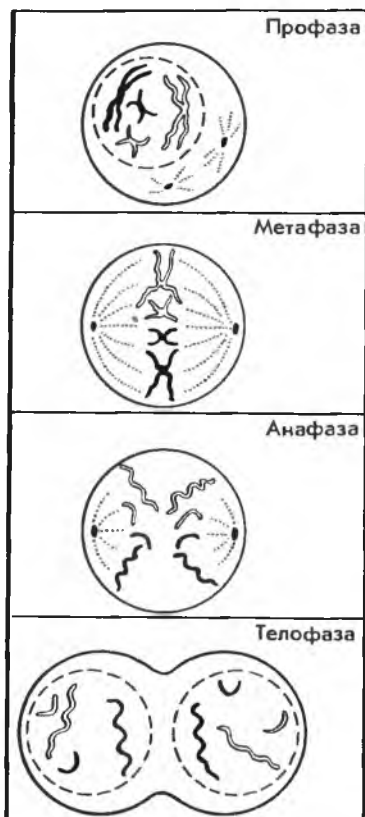


Рис. 7. Схематическое изображение основных стадий митоза и мейоза

В результате митоза все дочерние клетки содержат одинаковый набор хромосом и одни и те же гены. Следовательно, митоз — это способ деления клетки, заключающийся в точном распределении генетического материала между дочерними клет-

ками, обе дочерние клетки получают диплоидный набор хромосом.

Биологическое значение митоза огромно. Функционирование органов и тканей многоклеточного организма было бы невозможно без сохранения одинакового генетического материала в бесчисленных клеточных поколениях. Митоз обеспечивает такие важные процессы жизнедеятельности, как эмбриональное развитие, рост, поддержание структурной целостности тканей при постоянной утрате клеток в процессе их функционирования (защещение погибших эритроцитов, эпителия кишечника и пр.), восстановление органов и тканей после повреждения.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Можно ли определить, какому виду организмов принадлежит ткань, если из нее приготовить микропрепарат так, чтобы в клетках хорошо были заметны хромосомы?
2. Какие изменения в клетке предшествуют делению?
3. Назовите и кратко охарактеризуйте стадии митоза.
4. О чем говорит универсальный характер митоза, сходство его протекания у всех организмов, клетки которых имеют ядро?

РАЗМНОЖЕНИЕ. МЕЙОЗ. ОПЛОДОТВОРЕНИЕ

Процессы размножения у живых организмов разнообразны, однако все их можно свести к двум формам: бесполому и половому.

Сущность бесполого размножения. В *бесполом размножении* участвует только одна родительская особь; новый организм может возникнуть из одной клетки или из нескольких неспециализированных клеток материнского организма.

В природе встречается несколько видов бесполого размножения: спорообразование, вегетативное размножение, почкование и др. У некоторых организмов бесполое и половое размножение закономерно сменяют друг друга. Это явление называется *чередованием поколений*. Например, в тенистых лесах можно увидеть заросли папоротника — это бесполое поколение растений, которое образует огромное количество спор. Из спор развивается половое поколение — *заросток* папоротника. Другой пример — чередование вегетативного и полового размножения у целого ряда кишечнополостных животных.

Бесполое размножение эволюционно возникло раньше полового. С его помощью численность вида может быстро увеличиться. Однако бесполое размножение не сопровождается повышением наследственной изменчивости потомков: при любых его формах все потомки генетически сходны с материнской особью, так как развиваются из клеток, делящихся митозом.

Половое размножение, его значение для эволюции. Половое размножение имеет большое эволюционное преимущество по срав-

нению с бесполым. Это обусловлено тем, что в половом размножении принимают участие, как правило, две родительские особи. В результате слияния мужской и женской половых клеток (гамет), несущих гаплоидный набор хромосом, образуется оплодотворенная яйцеклетка — *зигота*, несущая наследственные задатки обоих родителей. Благодаря этому увеличивается наследственная изменчивость потомков и повышается их возможность в приспособлении к условиям среды обитания.

У низших многоклеточных организмов гаметы одинаковых размеров, у более высокоорганизованных растений и животных половые клетки не одинаковы по величине. Одни гаметы богаты запасными питательными веществами и неподвижны — *яйцеклетки*; другие, маленькие, подвижные — *сперматозоиды*. Образование гамет происходит в специализированных органах — половых железах. У высших животных женские гаметы образуются в яичниках, мужские — в семенниках.

Мейоз, его сущность. Половое размножение грибов, растений, животных связано с образованием специализированных половых клеток. Особый тип деления клеток, в результате которого образуются зрелые половые клетки (яйцеклетки и сперматозоиды), называется *мейозом* (см. рис. 7).

В половых железах в процессе образования половых клеток, как сперматозоидов, так и яйцеклеток, выделяют ряд стадий. В первой стадии — *р а з м н о ж е н и я* — первичные половые клетки делятся путем митоза, в результате чего увеличивается их количество. Во второй стадии — *р о с т а* — будущие яйцеклетки увеличиваются в размерах иногда в сотни, тысячи и более раз. Размеры сперматозоидов увеличиваются незначительно. В следующей стадии — *с о з р е в а н и я* — каждая половая клетка претерпевает мейоз, состоящий из двух последовательных делений — мейоза I и мейоза II. Удвоение ДНК и хромосом происходит только перед мейозом I. В результате мейоза образуются гаметы с гаплоидным числом хромосом. Таким образом, в отличие от митоза, при котором дочерние клетки получают диплоидный набор хромосом, в результате мейоза зрелые половые клетки имеют лишь одинарный, гаплоидный, набор хромосом. При этом в каждую дочернюю клетку попадает по одной хромосоме из каждой пары, присутствовавшей в родительской клетке. Мейоз, так же как и митоз, состоит из ряда фаз.

Фазы мейоза. Во время *профазы I* мейоза двойные хромосомы хорошо заметны в световой микроскоп. Каждая хромосома состоит из двух хроматид, соединенных между собой в области центромеры. Гомологичные хромосомы сближаются и *конъюгируют*, т. е. продольно тесно соединяются друг с другом (хроматида к хроматиде). При этом хроматиды часто перекручиваются или перекрещиваются. К концу профазы гомологичные хромосомы отталкиваются друг от друга. В местах перекреста хроматид происходят разрывы и обмены их участками. Это явление называется

Рис. 8. Перекрест хромосом в мейозе



кроссинговером — перекрестом хромосом (рис. 8). Затем, как и в профазе митоза, растворяется ядерная оболочка, исчезают ядрышки, образуются нити веретена.

В *метафазе I* хромосомы располагаются в экваториальной плоскости. В *анафазе I* гомологичные хромосомы, каждая из которых состоит из двух хроматид, расходятся к противоположным полюсам клетки. В *телофазе I* из каждой пары гомологичных хромосом в дочерних клетках оказывается по одной. Число хромосом уменьшается в 2 раза, хромосомный набор становится гаплоидным. Однако каждая хромосома состоит из двух хроматид, т. е. по-прежнему содержит удвоенное количество ДНК. Поэтому во время интерфазы между первым и вторым делениями мейоза удвоения (*редупликации*) ДНК не происходит.

Второе мейотическое деление идет по типу митоза. В *анафазе II* к полюсам расходятся хроматиды, которые и становятся дочерними хромосомами. Из каждой исходной клетки в результате мейоза образуется четыре клетки с гаплоидным набором хромосом.

По рассмотренной схеме мейоза идет *сперматогенез* — образование мужских половых клеток у животных и человека. В отличие от сперматогенеза, в результате *овогенеза* (формирования женских гамет) образуется не четыре равноценные клетки, а одна зрелая яйцеклетка и три маленькие клеточки, которые впоследствии исчезают. Таким образом, по сравнению с яйцеклетками сперматозоидов образуется во много раз больше. Это необходимо для обеспечения оплодотворения большего числа яйцеклеток и, следовательно, для сохранения вида.

Биологическое значение мейоза и оплодотворения. Сущность процесса оплодотворения состоит в слиянии сперматозоида с яйцеклеткой с образованием диплоидной клетки — зиготы.

Если бы в процессе мейоза не происходило уменьшение числа хромосом, то в каждом следующем поколении в результате оплодотворения число хромосом увеличивалось бы вдвое. Благодаря мейозу зрелые половые клетки получают гаплоидное (n) число хромосом, а при оплодотворении восстанавливается характерное для данного вида диплоидное ($2n$) число хромосом.

В ходе мейоза происходит перекрест и обмен участками гомологичных хромосом. Кроме того, материнские и отцовские хромосомы случайно распределяются между гаметами (гомологичные хромосомы каждой пары расходятся в стороны случайным образом независимо от других пар). Все эти процессы обеспечивают большое разнообразие гамет и увеличивают наследственную изменчивость организмов, что имеет большое значение для эволюции.

1. Чем отличается первое деление мейоза от второго и от митоза?
2. В чем заключается биологическое значение мейоза и его значение для эволюции?
3. Нарисуйте схематически мейотическое деление клетки с шестью хромосомами. Объясните: а) будут ли отличаться дочерние клетки от материнской; б) сколько хромосом получит дочерняя клетка в процессе мейоза; в) будут ли отличаться по набору хромосом дочерние клетки, образовавшиеся в результате мейоза и митоза?

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

Основные законы передачи наследственных признаков от поколения к поколению сформулировал в 1865 г. выдающийся чешский исследователь Г. Мендель. Статья Г. Менделя, напечатанная в малочитаемом журнале, оставалась долгое время неизвестной и приобрела широкую известность лишь в 1900 г.

Закономерности наследования признаков, установленные при моногибридном скрещивании. Основной метод исследования, которым пользовался Г. Мендель и который лег в основу современной генетики, называется *гибридологическим*. Суть его — в скрещивании (гибридизации) организмов, отличающихся друг от друга по одному или нескольким признакам.

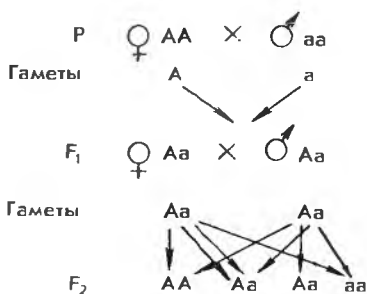
Г. Мендель проводил опыты с горохом. В первых экспериментах он скрещивал сорта гороха, отличающиеся цветом семян (желтого и зеленого). Такое скрещивание, при котором родительские организмы отличаются друг от друга по одному изучаемому признаку, называется *моногибридным*.

Из опытов Г. Менделя по моногибридному скрещиванию следовало, что наследственные признаки организмов (желтая и зеленая окраска семян) определяются дискретными частицами, которые распределяются в потомстве случайным образом. Теперь мы называем их *генами*. Ген может существовать в разных формах — *аллелях*, которые расположены в одинаковых участках гомологичных хромосом. Любой диплоидный организм содержит в каждой клетке два аллеля любого гена. Так, желтая окраска семян гороха определяется аллелем *A*, зеленая — аллелем *a*.

Если организм от отца и матери получает один и тот же аллель, он *гомозиготен* по данному гену. Мендель скрещивал два сорта гороха, гомозиготные по аллелям желтой и зеленой окраски семян (*aa* и *AA*). Если организм получает разные аллели, то он *гетерозиготен* (*Aa*) по данному гену.

Половые клетки в результате мейоза получают половинные наборы хромосом и поэтому имеют только один аллель из данной пары — *a* или *A* (правило чистоты гамет). При оплодотворении восстанавливается двойной набор хромосом и, следовательно,

в одной клетке могут оказаться оба аллеля. При этом аллели могут оказывать разное влияние на развитие признака. Так, аллель *A*, определяющий желтую окраску семян, является *доминантным* и будет полностью подавлять другой — *рецессивный* — аллель, определяющий зеленую окраску семян. Поэтому в результате скрещивания гомозиготных желтых и гомозиготных зеленых семян в первом поколении (F_1) все семена будут иметь желтую окраску:



Гетерозиготы (*Aa*), содержащие оба аллеля данного гена, не будут отличаться по окраске от гомозигот по доминантному аллелю.

Семена второго поколения (F_2), выращенные из гибридных семян путем самоопыления, будут давать расщепление в отношении 3 : 1 (3/4 семян гибридов F_2 в опытах Г. Менделя имели желтую окраску и 1/4 — зеленую). Это объясняется тем, что гетерозиготы (*Aa*) способны производить гаметы двух сортов, несущих аллели *A* и *a*. При оплодотворении возникает четыре типа зигот — $AA + Aa + Aa + aa$, что можно записать как $AA + 2Aa + aa$. Поскольку гетерозиготные семена также окрашены в желтый цвет, получается соотношение желтых и зеленых, равное 3 : 1 (**закон расщепления**).

Генотип и фенотип. Явление доминирования приводит к тому, что растения, выросшие из желтых семян, будучи внешне сходными, т. е. имеющие одинаковый фенотип, отличаются комбинацией генов, или генотипом. Понятия *генотип* и *фенотип* — очень важные в биологии. Совокупность всех генов организма составляет его генотип. Совокупность всех признаков организма (морфологических, анатомических, функциональных и др.) составляет фенотип. На протяжении жизни организма его фенотип может изменяться, однако генотип при этом остается неизменным. Это объясняется тем, что фенотип формируется под влиянием генотипа и условий среды.

Закономерности наследования, установленные при дигибридном скрещивании. Скрещивание, в котором участвуют две пары аллелей, называется *дигибридным*. При дигибридном скрещивании Г. Мендель изучал наследование двух пар признаков, за которые

отвечают пары аллелей, лежащих (как выяснилось значительно позднее) в разных парах гомологичных хромосом.

Если в дигибридном скрещивании разные пары аллельных генов находятся в разных парах гомологичных хромосом, то пары признаков наследуются независимо друг от друга (*закон независимого наследования*).

Рассмотрим опыт Г. Менделя, который привел его к открытию закона независимого наследования. Для дигибридного скрещивания Мендель взял гомозиготные растения гороха, отличающиеся по двум генам — окраски семян (желтые и зеленые) и формы семян (гладкие и морщинистые). Доминантные признаки — желтая окраска (A) и гладкая форма семян (B). Каждое растение образует один сорт гамет по изучаемым аллелям. При слиянии этих гамет все потомство будет единообразным (рис. 9).

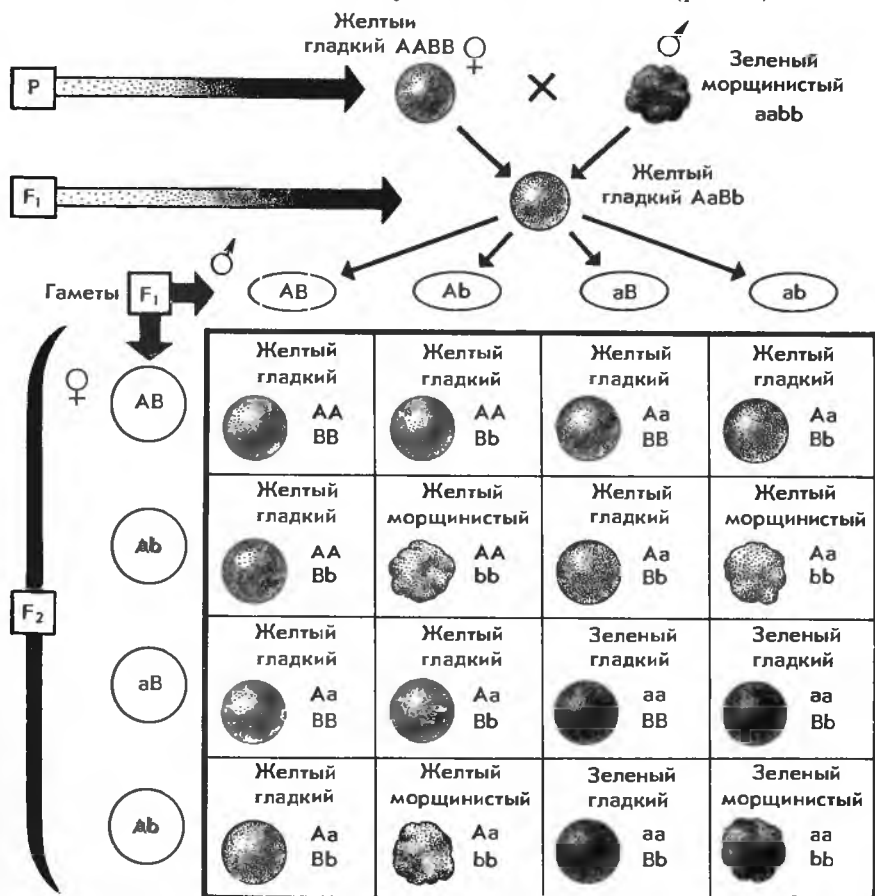


Рис. 9. Механизм наследования окраски и формы семян у гороха при дигибридном скрещивании

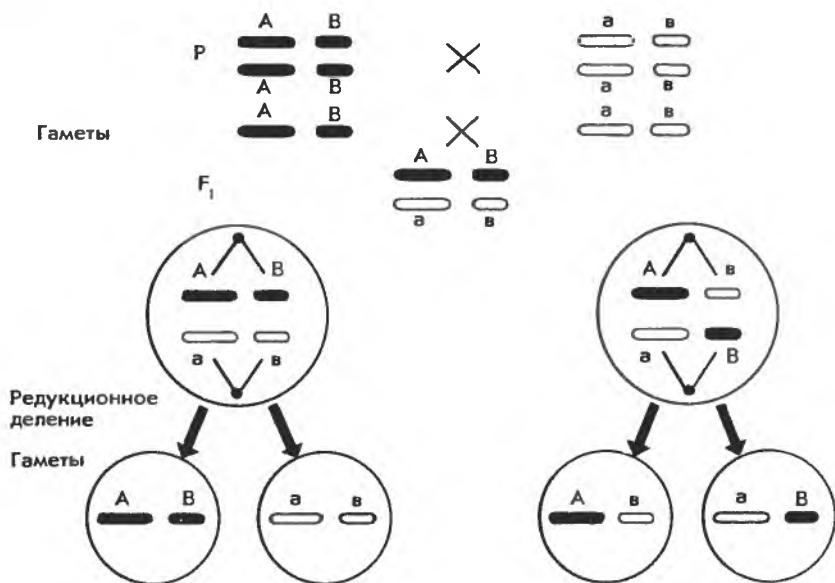


Рис. 10. Независимое расщепление каждой пары генов

При образовании гамет у гибрида (F_1) из каждой пары аллельных генов в гамету попадет только один. При этом вследствие случайности расхождения отцовских и материнских хромосом в мейозе I аллель A может попасть в одну гамету с аллелем B или с аллелем b . Точно так же, как аллель a может объединиться в одной гамете с аллелем B или b (рис. 10). Поскольку в каждом организме образуется много половых клеток, в силу статистических закономерностей у гибрида равновероятно образование четырех сортов гамет: AB , Ab , aB , ab , в равных количествах. Во время оплодотворения каждая из четырех типов гамет одного организма случайно встречается с любой из гамет другого организма. Все возможные сочетания мужских и женских гамет можно легко установить с помощью решетки Пеннета. Над решеткой по горизонтали выписываются гаметы одного родителя, а по левому краю решетки по вертикали — гаметы другого родителя. В квадратики вписываются генотипы зигот, образующихся при слиянии гамет. Нетрудно подсчитать, что по фенотипу потомство делится на четыре группы в следующем отношении: 9 желтых гладких; 3 желтых морщинистых; 3 зеленых гладких; 1 зеленая морщинистая (см. рис. 9). Если учитывать результаты расщепления по каждой паре признаков в отдельности, то получится, что отношение числа желтых семян к числу зеленых и отношение числа гладких к числу морщинистых для каждой пары равно 3 : 1. Таким образом, в дигибридном скрещивании каждая пара признаков при расщеплении в потомстве ведет себя так же, как в

моногибридном скрещивании, т. е. независимо от другой пары признаков. Иначе можно сказать, что расщепление по каждой паре генов идет независимо от других пар генов. Однако в отличие от закона расщепления, который справедлив всегда, закон независимого наследования проявляется только в тех случаях, когда пары аллельных генов расположены в разных парах гомологичных хромосом.

Законы Г. Менделя статистичны, они подтверждаются только в опытах с достаточно большим материалом (подсчеты сотен и тысяч особей).

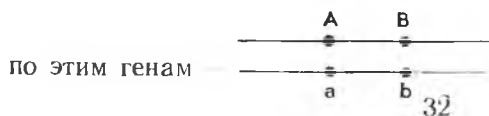
ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Чем гомозиготные особи отличаются от гетерозиготных?
2. Какие гены называются аллельными? Выберите из перечисленных пар признаков те, которые обусловлены аллельными генами: серая окраска тела, нормальные крылья; красная окраска глаз, белая окраска глаз; черная окраска глаз, черная окраска тела.
3. При скрещивании двух групп аквариумных рыб с серым телом в одном случае получены потомки и серые, и черные, в другом случае — только серые. Какой ген доминирует? Каковы генотипы родителей в обоих случаях?
4. Какова связь между законом расщепления и законом независимого наследования? При каких условиях действует закон независимого наследования?
5. У человека способность лучше владеть правой рукой доминирует над леворукостью, а карий цвет глаз — над голубым. Кареглазый правша женился на голубоглазой левше. Каким будет потомство в отношении этих признаков, если: а) отец гетерозиготен по признаку кареглазости; б) отец гетерозиготен по обоим признакам?

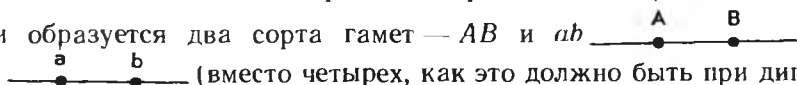
СЦЕПЛЕННОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И МНОЖЕСТВЕННОЕ ДЕЙСТВИЕ ГЕНОВ

Сцепленное наследование генов. Число генов у каждого организма значительно превышает число хромосом. Следовательно, в каждой хромосоме должно находиться много генов. Каковы же закономерности наследования генов, локализованных в одной хромосоме? Этот вопрос был изучен выдающимся американским генетиком Т. Морганом и его учениками.

Предположим, что два гена — *A* и *B* — находятся в одной хромосоме и организм, взятый для скрещивания, гетерозиготен



В анафазе

мейоза I гомологичные хромосомы расходятся в разные клетки и образуется два сорта гамет — AB и ab  (вместо четырех, как это должно быть при дигибридном скрещивании), которые повторяют комбинацию генов в хромосоме родителя. Такое отклонение от независимого распределения означает, что гены, локализованные в одной хромосоме, наследуются совместно, или сцепленно (закон Т. Моргана). Группы генов, расположенных в одной хромосоме, составляют *группу сцепления*. Сцепленные гены расположены в хромосомах в линейном порядке. Число групп сцепления соответствует числу пар хромосом, т. е. гаплоидному набору. Так, у человека 46 хромосом — 23 пары сцепления, у дрозофилы 8 хромосом — 4 группы сцепления.

Однако при анализе наследования сцепленных генов было установлено, что сцепление не бывает абсолютным, может нарушаться, в результате чего возникают новые гаметы Ab

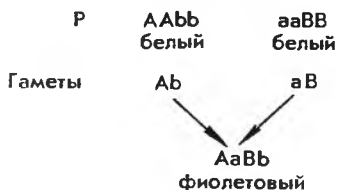
 и aB , с новыми комбина-

циями генов, отличающимися от родительской гаметы. Причина нарушения сцепления и возникновения новых гамет — кроссинговер — перекрест хромосом в профазе мейоза I (см. рис. 9). Перекрест и обмен участками гомологичных хромосом приводит к возникновению качественно новых хромосом и, следовательно, к постоянной «перетасовке» — *рекомбинации генов*.

Чем дальше друг от друга расположены гены в хромосоме, тем выше вероятность перекреста между ними и тем больший процент гамет с рекомбинированными генами, а следовательно, и больший процент особей, отличных от родителей. Т. Морган и его сотрудники показали, что, изучив явление сцепления и перекреста, можно построить карты хромосом с нанесенным на них порядком расположения генов. Карты, построенные на этом принципе, созданы для многих генетически хорошо изученных организмов: человека, дрозофилы, мыши, гороха, пшеницы, дрожжей и др.

Взаимодействие генов. В перечисленных примерах гены ведут себя как отдельные единицы, т. е. наследуются независимо друг от друга, и каждый из них определяет развитие одного какого-то признака, независимого от других. Однако генотип — это система взаимодействующих генов, а не механическая их совокупность. В результате взаимодействия генов в потомстве могут возникать новые признаки, отсутствовавшие у родительских организмов. Это явление называют *новообразованием при скрещиваниях*. Оно очень часто наблюдается в природе. Например, формирование такого, казалось бы, элементарного признака, как окраска цветков, зависит от взаимодействия, по крайней мере, двух неал-

лельных генов, продукты которых взаимно дополняют друг друга. При некоторых комбинациях скрещивания двух белых сортов душистого горошка между собой полученные семена дают растения с фиолетовыми цветками. Биохимический анализ показал, что фиолетовая окраска цветков — результат реакции между двумя веществами, каждое из которых образуется под действием определенного гена. Приводим схему скрещивания.



Из схемы видно, что имеются два гена *A* и *B* с аллелями *a* и *b*. Фиолетовая окраска цветков образуется тогда, когда в генотипе растения присутствуют одновременно два доминантных гена *A* и *B*.

Итак, выражение «ген определяет развитие признака» в значительной степени условно, так как действие гена зависит от других генов, от генотипической среды.

Множественное действие гена. В процессе развития один и тот же ген оказывается связанным со многими признаками. Например, у человека ген, определяющий рыжую окраску волос, обуславливает также более светлую окраску кожи и появление веснушек. Изменение одного гена у дрозофилы может одновременно изменять жилкование, форму и расположение крыльев, строение лапок, глаз, пигмента брюшка и еще ряд признаков.

Таким образом, в генотипе любого организма гены взаимодействуют между собой; на фенотипическое проявление признака влияет целый комплекс генов. Сочетание генов в организме обуславливает многообразие индивидуальных отличий особей одного вида.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. В каком случае гены наследуются сцепленно?
2. Каковы причины нарушения сцепления генов?
3. Почему в одних случаях кроссинговер происходит чаще, а в других случаях реже? Какая существует связь между величиной кроссинговера и расстоянием между генами?
4. Что такое новообразование? Приведите примеры.
5. Как связаны гены и признаки в организме?
6. Почему дети наследуют одни признаки от отца, другие от матери?
7. Почему у детей появляются новые признаки, не свойственные родителям?

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Изменчивость — способность живых организмов приобретать новые признаки и свойства. Различают наследственную, или генотипическую, изменчивость и ненаследственную, или модификационную, изменчивость.

Наследственная изменчивость, ее виды. К *наследственной изменчивости* относят такие изменения признаков организма, которые определяются генотипом и сохраняются в ряду поколений. Наследственная изменчивость складывается из мутационной и комбинативной изменчивости.

Сущность *комбинативной изменчивости* состоит в том, что при слиянии двух гамет, отличающихся друг от друга по составу генов, образуются новые комбинации генов, которых не было у родителей. Различные сочетания генов в генотипе гибридных поколений приводят к появлению у них новых фенотипов. Вот почему дети почти никогда не повторяют отца или мать, каждый ребенок генетически уникален, так как он получил свой генотип из комбинации генов обоих родителей. Каковы источники комбинативной изменчивости? Первый и важнейший источник — независимое расхождение гомологичных хромосом в мейозе I. Рекомбинация генов, основанная на явлении перекреста хромосом, — второй источник комбинативной изменчивости. Третий источник — случайное сочетание гамет при оплодотворении; четвертый — взаимодействие генов.

Мутации. Мутации — это случайно возникшие стойкие изменения генотипа, затрагивающие целые хромосомы, их части или отдельные гены. Мутации могут быть крупными, хорошо заметными, например отсутствие пигмента (альбинизм), отсутствие оперения у кур (рис. 11), коротконогость и др. Однако чаще всего мутационные изменения — это мелкие, едва заметные отклонения от нормы.

Геномные мутации. Геномные мутации связаны с изменением числа хромосом. Например, у растений довольно часто обнаруживается явление *полиплоидии* — кратного изменения числа хромосом. У полиплоидных организмов гаплоидный набор хромосом n в клетках повторяется не 2, как у диплоидов, а значительно большее число раз ($3n$, $4n$, $5n$ и до $12n$). Полиплоидия — следствие нарушения хода митоза или мейоза: при разрушении веретена деления удвоившиеся хромосомы не расходятся, а остаются внутри неразделившейся клетки. В результате возникают гаметы числом хромосом $2n$. При слиянии такой гаметы с нормальной (n) потомок будет иметь тройной набор хромосом.

Хромосомные мутации. Хромосомные мутации — это перестройки хромосом. Участки хромосом могут изменить свое положение, потеряться или удвоиться. Проиллюстрируем основные типы хромосомных мутаций:

Условные обозначения генов Изменение структуры хромосом

12345678910	————	нормальный порядок генов
123—78910	————	потеря участка
1234—234—5678910	————	удвоение участка
123—7654—8910	————	поворот участка на 180°
123—АВВГДЕ	————	перемещение участка на него- мологичную хромосому

Генные мутации. Генные, или точковые, мутации связаны с изменением состава или последовательности нуклеотидов в пределах участка ДНК — гена. Нуклеотид внутри гена может быть заменен на другой или потерян, может быть вставлен лишний нуклеотид и т. д. Генные мутации могут привести к тому, что мутантный ген либо перестанет работать и тогда не образуются соответствующие и-РНК и белок, либо синтезируется белок с измененными свойствами, что приводит к изменению фенотипа.

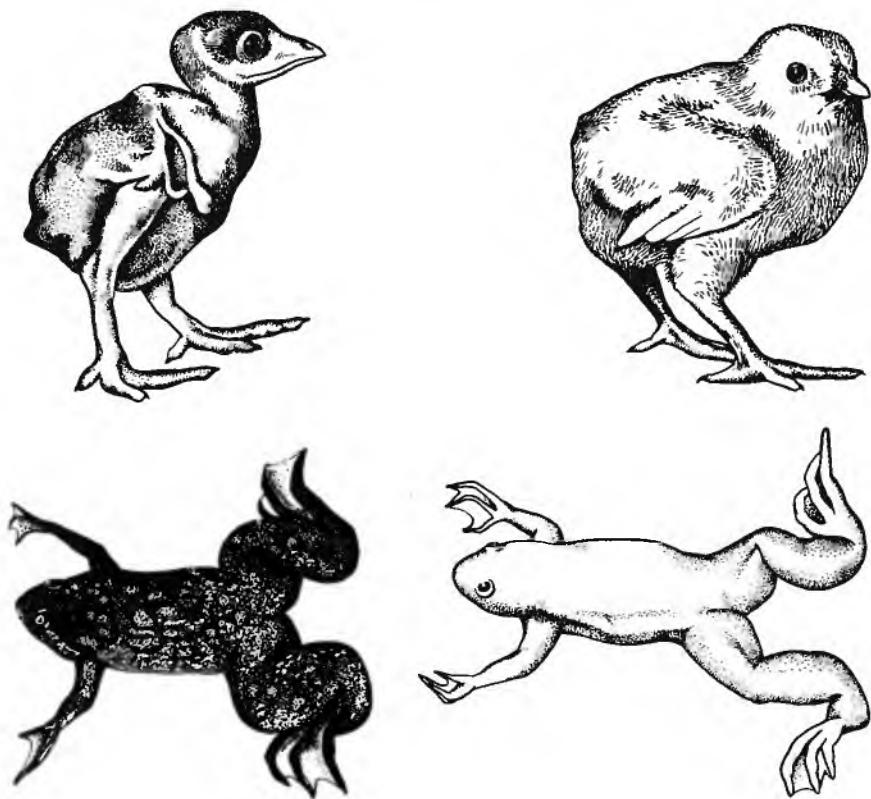


Рис. 11. Примеры мутаций:

нормальный цыпленок (справа) и мутантный, лишенный оперения;
нормальная лягушка и мутантная, совершенно белая (альбинос)

ческих признаков особи. Вследствие генных мутаций образуются новые аллели, что имеет большое эволюционное значение.

Генеративные и соматические мутации. Генеративные мутации возникают в половых клетках, но не влияют на признаки данного организма, а проявляются только в следующем поколении.

Если изменяются гены в соматических клетках, то мутации проявляются у данного организма и не передаются потомству при половом размножении. Однако при бесполом размножении, если организм развивается из клетки или группы клеток, имеющих мутировавший ген, мутации могут передаваться потомству. Такие мутации называются *соматическими*.

Свойства мутации. Мутации стойко передаются по наследству, чем обусловлена их огромная роль в эволюции: только наследственные изменения могут стать достоянием последующих поколений при условии успешного размножения и выживания особей с этими мутациями.

Мутации вызываются различными внешними и внутренними факторами. Ультрафиолетовые лучи, колебания температуры, изменение химических реакций в клетке в связи с ее старением, действие различных химических веществ могут привести к изменениям структуры ДНК и целых хромосом. Возникают мутации внезапно, скачкообразно, у отдельных особей вида и в большинстве случаев вредны для организма, так как расшатывают исторически сложившийся генотип. Одни и те же мутации могут возникать повторно.

Мутации ненаправленны: мутировать может любой ген, вызывая изменения как незначительных, так и жизненно важных признаков. При этом один и тот же фактор, например рентгеновское излучение, действуя на клетки, может вызвать самые разные мутации, которые трудно даже предвидеть.

Ненаследственная изменчивость. Если у гималайского кролика на спине удалить белую шерсть и поместить его в холод, на этом месте вырастет черная шерсть. Если черную шерсть удалить и наложить теплую повязку, вырастет белая шерсть. При выращивании гималайского кролика при температуре 30 °С вся шерсть у него будет белая. У потомства двух таких белых кроликов, выращенного в нормальных условиях, появится «гималайская» окраска. Такая изменчивость признаков, вызванная действием внешней среды и не передающаяся по наследству, называется *модификационной*. Примеры модификационной изменчивости приведены на рисунке 12.

Модификационная изменчивость не затрагивает наследственную основу организма, его генотип и поэтому не передается от родителей потомству.

Еще одна особенность модификационной изменчивости — ее групповой характер. Определенный фактор внешней среды вызывает сходное изменение признаков у всех особей данного вида,

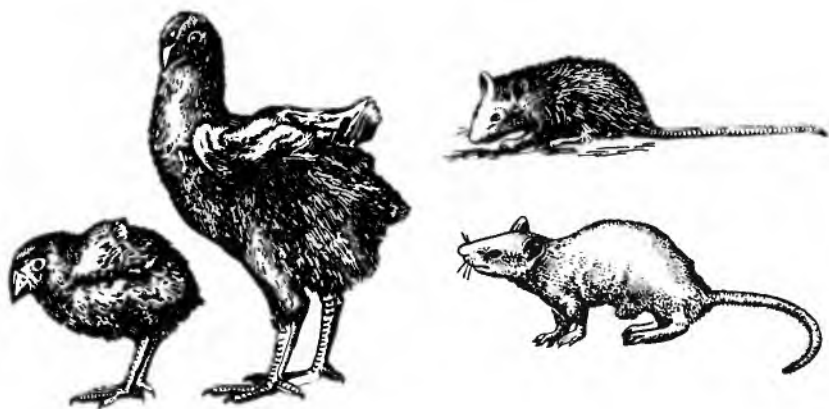


Рис. 12. Примеры модификационной изменчивости:

цыплята одного возраста, которые получали одинаковую пищу, не содержащую витамина D: один цыпленок (*справа*) подвергался освещению солнцем, другой (*слева*) — не подвергался. Крыса (*вверху*), в рационе которой отсутствовала аминокислота валин. Та же крыса спустя 25 суток после добавления в пищу валина

породы или сорта: под воздействием ультрафиолетовых лучей все люди загорают, все растения белокочанной капусты в жарких странах не образуют кочана. При этом, в отличие от мутаций, модификации направлены, имеют приспособительное значение, происходят закономерно, их можно предсказать. Если листья на деревьях уже распустились, а ночью были заморозки, то утром листья у деревьев примут красноватый оттенок. Если мышей, которые жили на равнинах вблизи гор, переселить в горы, то у них повысится содержание гемоглобина в крови.

Благодаря возникновению модификаций особи непосредственно (адекватно) реагируют на изменение условий среды и лучше приспособляются к ней, что дает возможность выжить и оставить потомство.

Норма реакции. Живые организмы постоянно испытывают влияние разнообразных факторов среды, в которой они обитают. При этом количественные признаки (масса тела крупного рогатого скота, молочность коров, яйценоскость кур и т. п.) в большей степени подвержены влиянию среды, чем качественные признаки (цвет глаз, масть животных, форма и окраска цветков и т. п.). Так, хорошо известно, что количество молока (количественный признак) в сильной степени зависит от содержания и кормления коров. Однако и генотип оказывает существенное влияние на развитие этого признака. Существуют малопродуктивные породы, дающие в естественных условиях 1000—1200 кг молока в год, и высокопродуктивные, дающие 4000 кг молока и больше. Улучшение кормления и содержания животных может резко повысить

удой молока у малопродуктивных пород (до 2500 кг). Наоборот, ухудшение условий может привести к тому, что ценные породы снизят свою продуктивность до 2000 кг и ниже. Однако, как ни улучшай условия содержания малопродуктивных пород, не удастся поднять их удои до 4000—5000 кг молока. Таким образом, признаки развиваются в результате взаимодействия генотипа и среды. Пределы изменчивости признака называют его *нормой реакции*. Иначе говоря, наследуется не признак как таковой, а способность организма (его генотипа) в результате взаимодействия с условиями среды давать определенный фенотип. Широкая норма реакции в природных условиях имеет важное значение для сохранения и процветания вида.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Приводим несколько примеров изменчивости. Определите, к какому виду изменчивости (наследственной или ненаследственной) они относятся:
 - наступили холода — мех у зайцев стал гуще;
 - на поле все всходы льна погибли от мороза, а одно растение выжило как более зимостойкое;
 - у подростка со слаборазвитой мускулатурой в результате тренировок развились мышцы, появилась сила и ловкость;
 - у примулы один из цветков имел 6 лепестков вместо 5;
 - растение, перенесенное из долины в горы, стало низкорослым, плохо кустится.
2. Радиация, действуя на организм, может вызвать как соматические, так и генеративные мутации. К каким результатам могут привести соматические мутации? Мутации в половых клетках? Какие из этих мутаций наиболее важны для эволюции?
3. У человека, больного фенилкетонурией, в крови отсутствует фермент, обеспечивающий синтез аминокислоты тирозина из аминокислоты фенилаланина. В результате этого в крови накапливается фенилаланин и продукты его расщепления, которые в конечном счете вызывают слабоумие. Какой тип мутаций иллюстрирует данный пример?
4. У людей с болезнью Дауна, характеризующейся слабоумием и комплексом других аномалий (маленькая голова, плоское лицо, узкий разрез глаз и др.), в клетках содержится 47 хромосом. Какой тип мутаций иллюстрирует пример болезни Дауна?

Глава II. РАЗВИТИЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ. ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ЭВОЛЮЦИИ

ИСТОКИ ДАРВИНИЗМА. ПЕРВОЕ ЭВОЛЮЦИОННОЕ УЧЕНИЕ

Линнеевский период развития биологии. Сама идея эволюции стара как мир. Представлениями о возможности превращения (трансформации) одного вида в другой пронизаны мифы многих народов. Зачатки эволюционных представлений можно найти как в трудах мыслителей Древнего Востока, так и в высказываниях античных философов Анаксимена, Анаксимандра, Эмпедокла. Эти представления касались не только эволюции всего мироздания, но распространялись и на биологическую эволюцию.

Идеям *трансформизма* противоречила философия иудаизма и христианства со свойственной этим религиям идеей о едином акте творения (*creatio*), ставшая основой статической картины мироздания — *креационизма*. Споры трансформистов и креационистов шли на протяжении многих веков вплоть до второй трети XIX в. В большинстве своем до середины XVIII в. спорящие стороны не привлекали нового фактического материала, и эти дискуссии носили в значительной степени схоластический характер.

Человеку, запертому в стенах средневекового города или знакомому лишь с природой, окружавшей старейшие университеты Европы, было трудно, почти невозможно собрать новые факты, подтверждающие идею трансформизма. Фауна и флора Европы с ее умеренным климатом не слишком разнообразны, здесь не просто найти переходные формы между современными видами и родами, что могло привести к идеям трансформизма.

Эпоха Великих географических открытий познакомила европейцев с поразительным многообразием жизни в тропиках, она привела к возникновению первых гербариев (Рим, Флоренция, Болонья) уже в XVI в., ботанических садов (Англия, Франция), кунсткамер и зоологических музеев (Нидерланды, Англия, Швеция). К концу XVII в. многообразие вновь описанных форм было настолько велико, что ботаники и зоологи того времени буквально стали тонуть в море накопленного и постоянно прибывающего материала. Понадобился гений Карла Линнея для того, чтобы навести порядок в этих горах материала, и создание Линнеем систематики как науки было первым и, пожалуй, самым важным камнем, заложенным в будущий фундамент дарвинизма.

К. Линней был креационистом (он писал, что «видов столько, сколько их создало Бесконечное существо»). Однако его имя как ученого стоит рядом с такими именами, как И. Ньютон, Г. Лейбниц. Историческое значение К. Линнея, провозвестника эволюционизма, состоит в том, что он выдвинул *принцип иерар-*

личности систематических категорий (таксонов): виды объединяются в роды, роды в семейства, семейства в отряды, отряды в классы и т. д. Иерархичность системы Линнея близка к идее расхождения признаков у родственных организмов, предложенной столетием позже Ч. Дарвином. К. Линней первым поместил человека среди отряда приматов, нанеся первый сокрушительный удар представлениям об исключительности человека как явления природы.

Принятие принципа иерархичности таксонов, стимулированное К. Линнеем бурное развитие систематики в большей степени способствовало возникновению и признанию дарвинизма, нежели труды трансформистов и ранних эволюционистов второй половины XVIII — первой половины XIX в.

Эволюционная концепция Ж. Б. Ламарка. Первая целостная концепция эволюции была высказана французским естествоиспытателем Жаном Батистом Пьером Антуаном де Монье шевалье де Ламарком в вводных лекциях по курсу зоологии в 1802—1806 гг., а в 1809 г. он в полной форме изложил свою теорию эволюции в известном труде «Философия зоологии».

Ж. Б. Ламарк особое внимание обратил на эволюцию во времени. Он считал, что существующие виды должны со временем превращаться в новые, более совершенные.

Развивая идеи швейцарского натурфилософа Бонне о «лестнице существ» как отражении прогрессивного усложнения организации живого, Ламарк рассматривал усложнение организации как результат эволюции и предложил классифицировать животных по степени сложности их строения. Он разделил животных на позвоночных и беспозвоночных и сгруппировал их в 14 классов, разместив на 6 ступенях лестницы. На низшей ступени оказались инфузории и полипы. Каждая следующая, более высокая ступень характеризовалась усложнением в строении основных систем органов — нервной и кровеносной. На высшей ступени Ж. Б. Ламарк расположил птиц и млекопитающих. В отличие от Бонне он считал, что ступени эволюции не представляют собой прямой линии, как это следовало из «лестницы существ», а имеют множество ветвей и отклонений на уровне видов и родов. Представление о разветвлении «лестницы существ», непрямолинейном характере эволюции подготовило почву для представлений о «родословных древах», развитых в 60-х годах XIX в.

Обратив внимание на поступательный ход прогрессивной эволюции, на всеобщий характер изменчивости, Ж. Б. Ламарк в своем эволюционном учении не смог раскрыть движущие силы (факторы) эволюции. Он допускал в качестве основного фактора эволюции адекватное прямое влияние среды, в частности влияние упражнения и неупражнения органов, которое ведет к усилению данных органов не только у конкретной особи (что признается и современной наукой), но и у ее потомства (так называемая гипотеза «наследования приобретенных признаков»). Например,

возникновение длинной шеи у жирафа, с точки зрения Ж. Б. Ламарка, объясняется изменением поведения предков животного, которым приходилось вытягивать шею при питании листьями деревьев.

Ж. Б. Ламарк допускал также, что стремление, желание животного ведет к усиленному притоку крови и других «флюидов» к той части тела, к которой направлено это стремление, что вызывает усиленный рост данной части тела, передаваемый затем по наследству. Эти идеи Ж. Б. Ламарка составили наиболее слабую сторону его учения и были подняты на щит ламаркистами — противниками дарвинизма в конце XIX в., затем гипотезу «наследования приобретенных признаков» вновь пытались оживить в нашей стране Т. Д. Лысенко и его сторонники.

И все же Ж. Б. Ламарк вошел в историю науки как великий ученый, впервые сделавший попытку создать стройное эволюционное учение, в котором на передний план была выдвинута задача всесторонне доказать сам факт эволюции и сделана попытка, хотя и неудачная, выявить движущие силы эволюции. Именно в привлечении внимания к этим двум проблемам заключалась великая заслуга Ж. Б. Ламарка, которую высоко оценил Ч. Дарвин, считая его своим предшественником в утверждении эволюционной идеи.

Эволюционные идеи в России. В России в додарвиновский период высказывались эволюционные идеи, признающие материальные факторы развития органического мира. М. В. Ломоносов, А. Н. Радищев и другие ученые XVIII в. говорили об изменчивости природы, ее развитии. В XIX в. эволюционные идеи получили отражение в трудах ученых и писателей, особенно из числа революционных демократов. Огромную роль в утверждении и пропаганде идеи исторического развития органического мира принадлежит талантливому отечественному ученому-зоологу К. Ф. Рулье. Его творческая деятельность протекала в 40—50-х годах XIX в., после смерти Ламарка. В это время систематика продолжала оставаться лидером биологии и ученые связывали свои основные задачи с названием, описанием и классификацией живых организмов. К. Ф. Рулье призвал больше уделить внимания изучению взаимосвязи животных и растений со средой их обитания. Он подверг критике взгляды о неизменности видов и за 15 лет до появления учения Ч. Дарвина отмечал факты вытеснения одних видов другими и вымирания их в результате борьбы за питание. К. Ф. Рулье мечтал о создании общей картины исторического развития живой природы. Для обоснования факта эволюции он использовал сведения из палеонтологии, сравнительной анатомии и эмбриологии. Рулье широко пропагандировал свои взгляды, излагал их в публичных лекциях. Благодаря его деятельности общественность России была подготовлена к восприятию учения Дарвина.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. В чем состоит значение К. Линнея как провозвестника эволюционизма?
2. Как представлял Ж. Б. Ламарк движущие силы эволюции? В чем несостоятельность и прогрессивное значение его взглядов?

ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ УЧЕНИЯ Ч. ДАРВИНА

Революционный переворот в естествознании произвела подлинно научная теория эволюции, разработанная Ч. Дарвином. Учение Дарвина свыше 100 лет остается верным и получает развитие и подтверждение данными современных наук о природе. Что же способствовало разработке Ч. Дарвином теории эволюции спустя всего 50 лет после создания эволюционного учения Ж. Б. Ламарком?

Общественно-экономические и научные предпосылки возникновения дарвинизма. В первой половине XIX в. в странах Западной Европы, особенно в Англии, интенсивно развивался капитализм, который стимулировал развитие науки. Спрос промышленности на сырье и населения растущих городов на продукты питания способствовал развитию селекции. Селекционеры путем гибридизации и отбора вывели новые породы крупного рогатого скота, лошадей, свиней, овец, птиц и сорта сельскохозяйственных и декоративных растений. Впечатляющие успехи практической деятельности человека по преобразованию домашних растений и животных косвенно, но убедительно свидетельствовали против представлений о неизменности видов в природе. Именно данные селекции использовал Ч. Дарвин при создании учения об искусственном отборе.

Большую роль в подготовке дарвинизма сыграли конкретные исследования и ряд теоретических обобщений, разработанных в XVIII и в первой половине XIX в. Так, Ж. Кювье создал палеонтологию, заложил основы геохронологии. Данные сравнительной морфологии и анатомии (исследования И. В. Гете, Г. Бронна) свидетельствовали о едином плане строения позвоночных животных: сходство в деталях скелета, мышц, сосудов, нервов. Исследования сравнительной эмбриологии К. Э. фон Бэра приводили к мысли о единстве происхождения хордовых животных: на ранних стадиях развития зародыши обнаруживали поразительное сходство. Клеточная теория, разработанная Т. Шванном, убеждала в единстве происхождения растительного и животного мира. Труды И. Канта заложили основы представлений о возможности эволюции космических тел. Геолог Ч. Лайель разработал теорию эволюции Земли. Эти и другие факты никак не согласовывались с учением о неизменности мира и ждали научного объяснения.

Гениальный ум Ч. Дарвина сумел обобщить огромный фактический материал в свете эволюционной идеи, связать стройной системой рассуждений.

Чарлз Дарвин (1809—1882). Чарлз Роберт Дарвин — английский естествоиспытатель, основатель эволюционного учения о происхождении видов путем естественного отбора, внук английского натурфилософа, врача и поэта Эразма Дарвина, который был автором трансформистских сочинений «Зоономия, или Законы органической жизни» (1794—1796) и «Храм природы, или Происхождение общества». Ч. Дарвин изучает медицину в университете Эдинбурга (1825—1827), теологию в Кембридже (1827—1831), где получает степень бакалавра. Первые научные доклады он делает в 1826—1827 гг. в Плиниевском обществе. Натуралистическое образование получает под руководством ботаника Дж. Генсло и геолога А. Сержвика. На формирование его взглядов большое влияние оказал Ч. Лайель.

В 1831—1836 гг. Ч. Дарвин совершает кругосветное путешествие на корабле «Бигл» как натуралист, собрав богатейшие зоологические, палеонтологические, ботанические и геологические коллекции. Находясь в Южной Америке, он сравнивает останки вымерших ленивцев и броненосцев с ныне живущими видами и предполагает их родство. На Галапагосских вулканических островах Ч. Дарвин обнаруживает нигде более не встречающиеся, но очень похожие на южно-американские виды птиц, черепах, ящериц. Нелепо было бы предположить, что для каждого вновь возникающего острова творец создает свои особые виды животных. Ч. Дарвин делает другой вывод: животные попали на острова с материка и изменились в результате приспособления к новым условиям обитания. Уже в этот период он приблизился к открытию принципа *дивергенции*, т. е. расхождения признаков у потомков общего предка. К 1837 г. Ч. Дарвин становится убежденным эволюционистом и начинает искать движущий фактор эволюции. Одновременно он ведет огромную работу в области зоологии, геологии, географии, палеонтологии. Монографии Ч. Дарвина в этих областях принесли ему мировую известность. Авторитет Дарвина как крупного естествоиспытателя способствовал позднее принятию его эволюционной теории.

В 1839 г. Дарвин публикует описание путешествия на «Бигле», в последующие годы (1839—1846) издает 5-томный труд, в котором отражает зоологические и геологические результаты этого путешествия.

В 1842 г. Дарвин делает первый набросок «Происхождения видов», в котором заложены основы будущей эволюционной теории, а в 1844 г. развивает этот очерк до значительной рукописи. Но пройдет 15 лет до тех пор, пока Ч. Дарвин опубликует окончательный вариант своей знаменитой книги. В рукописи Дарвин пишет «об изменении органических существ под влиянием одомашнивания и о принципах отбора», «об изменении органических существ

в диком состоянии», проводит параллели между искусственным и естественным отбором, развивает мысль, что виды происходят от рас, образовавшихся естественным путем от общих предков, говорит о постепенности появления видов и высших систематических единиц, подчеркивает важную роль биогеографии, эмбриологии и палеонтологии для доказательства эволюции. Материалом для «очерка 1842 г.» послужили записные книжки, одна из которых, посвященная «трансмутации видов», была начата в июле 1837 г. В этих записках Ч. Дарвин говорит о том, что последовательная череда поколений связывает ископаемые формы с современными, подчеркивает мысль о том, что если не найдено в ископаемом состоянии промежуточных форм, то это не значит, что таких форм не было. Он рассматривает современное географическое распространение животных и растений как результат эволюции, говорит о вымирании видов как о естественном и длительном процессе, об общности происхождения человека и животных.

После написания очерков в 1842—1844 гг. Дарвин возвращается к работе над конкретными исследованиями. Он публикует «Геологические наблюдения в Южной Америке» (1846) и занимается изучением морфологии и систематики сидячих ракообразных — усоногих раков. Работа разрастается в 4-томное издание и посвящается изучению как современных, так и ископаемых видов. Она удостоивается высшей награды — медали королевского общества. Этот труд Ч. Дарвина и по сей день используется специалистами.

В 1854—1855 гг. Ч. Дарвин вплотную приступает к работе над эволюционной теорией, собирает материалы по изменчивости, наследственности и эволюции диких видов животных и растений, а также собирает данные по методам селекции домашних животных и культурных растений. В конце 1855 г. Дарвин начинает писать труд, рассчитанный на 3—4 тома. К лету 1858 г. он написал 10 глав этого сочинения.

18 июня 1858 г. Ч. Дарвин получает рукопись своего соотечественника, молодого ученого Альфреда Уоллеса, в которой тот независимо от Ч. Дарвина формулирует принцип естественного отбора. Ч. Дарвин решает представить статью А. Уоллеса в печать, умолчав о том, что он уже написал отдельные разделы задуманного трехтомника. По настоянию геолога Ч. Лайеля и ботаника Дж. Гукера Ч. Дарвин и А. Уоллес на заседании Линнеевского зоологического общества в Лондоне делают доклады и вместе опубликовывают их в 1858 г. Этот год можно считать годом рождения эволюционной теории. По совету коллег, Ч. Дарвин пишет «краткое извлечение» из задуманного им эволюционного труда. Это «извлечение» вышло из печати в 1859 г. под названием «Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятствуемых рас (форм, пород) в борьбе за жизнь». При жизни Дарвина эта книга выдерживает шесть английских, три американских, пять немецких, три русских, три французских

и по одному итальянскому, голландскому, шведскому изданию.

Приоритет создания эволюционной теории по праву принадлежит Ч. Дарвину. Это подчеркивает и сам А. Уоллес в 1875 г. в книге «Дарвинизм» (откуда и пошло название теории эволюции).

В 1886 г. Ч. Дарвин публикует второй капитальный труд — «Изменение домашних животных и культурных растений», в котором приводит большой дополнительный материал в доказательство эволюционной идеи. Эта работа закладывает теоретические основы селекции.

В 1871 г. выходит в свет третий фундаментальный труд — «Происхождение человека и половой отбор», который завершает трилогию основных работ Ч. Дарвина по теории эволюции.

Эволюционные труды Ч. Дарвина разрушили креационистскую концепцию о сотворении видов, подорвали основы представлений о божественном происхождении человека, его исключительном положении в системе органического мира.

Энциклопедичность Ч. Дарвина, исключительный авторитет, приобретенный им как естествоиспытателем, корректность и дипломатичность в дискуссиях, внимание к точкам зрения оппонентов и критиков, доброжелательное отношение к ученикам и последователям, почтительность по отношению к старшим коллегам в немалой степени способствовали скорейшему принятию учения Ч. Дарвина во всем мире.

Умер великий ученый 19 апреля 1882 г. и был погребен в Вестминстерском аббатстве, месте захоронения многих великих ученых Англии, рядом с могилой Ньютона.

Основные положения учения Ч. Дарвина. Главная заслуга Ч. Дарвина в том, что он совместно с А. Уоллесом объяснил развитие природы действием только естественных законов, без вмешательства сверхъестественных сил. Основные положения его учения раскрывают причины — движущие силы эволюции органического мира. Ч. Дарвин обратил внимание на многообразие пород домашних животных и сортов культурных растений. Как же возникло это многообразие? Пытаясь ответить на этот вопрос, он пришел к следующему выводу: человек создает сорта и породы на основе *наследственной изменчивости и искусственного отбора*. Из поколения в поколение человек отбирал и оставлял на племя особей с каким-либо наследственным изменением и устранял других особей от размножения. В результате получены новые породы и сорта, их признаки соответствовали интересам человека.

Понимание происхождения культурных форм дает ключ к объяснению происхождения видов. Наследственная изменчивость, на основе которой ведется искусственный отбор, проявляется и в природе. Сама по себе она еще не приводит к образованию нового вида, как не приводит к возникновению культурной формы. Аналогично творчеству человека в природе должны существовать причины, определяющие процесс видообразования. Ими являются борьба за существование и естественный отбор.

Борьба за существование — сложные и многообразные отношения организмов между собой и условиями внешней среды. Неизбежность борьбы за существование в живой природе вытекает из противоречия между способностью организмов к неограниченному размножению и ограниченностью средств жизни, что приводит к конкуренции за одинаковую пищу, за сходные условия обитания и размножения. Возможность дожить до половозрелого состояния выпадает на долю лишь немногих особей.

Следствием борьбы за существование является *естественный отбор*, сохранение благоприятных индивидуальных различий и устранение вредных. Естественный отбор сохраняет особи с полезными в данных условиях среды наследственными изменениями и устраняет особи без этих изменений. В результате чего первые оставляют плодovitое потомство и их численность возрастает.

Таким образом, из поколения в поколение в результате взаимосвязанного действия наследственной изменчивости, борьбы за существование, естественного отбора виды изменяются в направлении все большей приспособленности к условиям существования. Приспособленность организмов как результат эволюции всегда относительна. Другой результат эволюции — многообразие видов, населяющих Землю (Подробнее об этом см. на с. 120.).

Учение Ч. Дарвина не нуждается в привлечении для объяснения эволюции нематериальных факторов и доказывает, что движущие силы развития природы находятся в ней самой. Ими являются *наследственная изменчивость, борьба за существование и естественный отбор*. Следовательно, живой природе присущи *самодвижение и саморазвитие*. В этом заключается мировоззренческое значение учения Ч. Дарвина.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Какие научные факты не согласовывались с учением о неизменности видов в природе и послужили основанием для разработки эволюционной теории?
2. Какие факты, доказывающие историческое развитие органического мира, были собраны Ч. Дарвином во время путешествия на корабле «Бигл»?
3. Сформулируйте основные положения эволюционного учения Ч. Дарвина.

ИСКУССТВЕННЫЙ ОТБОР

«**Неолитическая революция**». Около 10—15 тыс. лет назад в разных местах нашей планеты, там, где жили первобытные люди, начался грандиозный процесс приручения диких животных и окультуривания растений, который сегодня называют *неолитической революцией*.

Около 10 тыс. лет назад на территории, где располагаются теперь Сирия, Палестина, Турция, Ирак и Иран, уже были одомашнены крупный рогатый скот, коза, овца, свинья. Девять тысяч лет — таков примерно возраст домашней кошки. Гораздо позднее, около 5 тыс. лет назад, в разных районах Азии были одомашнены лошади, ослы, буйволы, верблюды. Примерно в то же время в Китае «служил» человеку тутовый шелкопряд — одно из немногих одомашненных насекомых. Медоносная пчела приручена в Европе около 2—3 тыс. лет назад. Поразительно, что, за исключением северного оленя и норки, а также лабораторных животных, весь процесс одомашнивания животных был завершен за 1—2 тыс. лет до н. э. В эпоху древних цивилизаций человечество вошло практически с современным видовым составом домашних животных.

Сознательно или стихийно приручал человек животных, например собаку? Конечно, заманчиво думать, что наши предки сознательно использовали каких-либо предков собак (шакала или волка). Но возможно, что здесь шел процесс взаимной адаптации человека и полустайного хищника. Скорее всего около жилищ человека и мусорных куч с пищевыми остатками селились хищники, некоторые из которых стали сопровождать его и во время охоты. И в наше время зафиксированы случаи, когда волки селились около помоек птицефабрик. Одна из пар волков устроила логово в Воронцовском парке в черте Москвы.

В окультуривании растений наши предки добились еще более значительных успехов. Древние селекционеры неолита на основе частично стихийного отбора, а частично опираясь на изустно передаваемый опыт древних собирателей, провели огромную работу по формированию видового состава культурных растений, на которой и поныне основано сельское хозяйство всего мира. Мы во многом сейчас живем на проценты с капитала, заложенного нашими неолитическими предками. Пшеница — главная продовольственная культура — выращивалась еще 8—10 тыс. лет назад. Рожь и овес пришли на поля как сорняки пшеницы.

В процессе одомашнивания дикие виды были не просто приручены, а, находясь под властью человека, претерпели существенные изменения. Каждая группа домашних животных или растений, будь то крупный рогатый скот, лошади, голуби или пшеница, капуста, не является однородной по составу, а включает множество форм (пород у животных, сортов у растений). К середине XIX в. насчитывалось несколько сотен пород крупного рогатого скота, которые произошли от 3—4 видов диких животных, более сотни пород домашних собак ведут начало от 1—2 видов псовых, столько же пород кур и голубей имели лишь единственного предка. Более 4 тыс. сортов пшеницы произошли от двух диких предков — однозернянки и эйлера. Кроме того, породы и сорта резко отличаются не только от диких предков, но и между собой. Указанные особенности убедительно свидетельствуют о твор-

ческой деятельности человека, его способности подвергать животные и растения разнообразным изменениям. Каковы же причины изменения организмов в домашних условиях?

Причины образования сортов и пород. Древние земледельцы и животноводы не только применяли отбор лучших особей на племя, но и использовали отдаленную гибридизацию. Так, они получали мулов и знали о их бесплодии. Но для гибридизации необходимо иметь два родительских вида. Например, гималайские кролики получены скрещиванием шиншилловых кроликов с серебристо-серыми. Но как объяснить многочисленные факты происхождения пород от одного предка? Известно, что домашние куры произошли от дикой банкивской курицы, голуби — от дикого скалистого голубя. Гибридизация в данном случае не могла быть фактором создания пород.

В селекционной практике имелись факты, подтверждающие происхождение домашних животных в результате внезапного порождения — возникновения крупных мутаций. Ч. Дарвин проанализировал это явление. В стаде мериносных овец одного американского фермера родился ягненок с удлинненным телом и укороченными ногами. Эти признаки устойчиво передавались потомству. В результате такого значительного изменения в строении возникла исходная форма для выведения породы анконских овец. Аналогично были созданы некоторые породы собак (такса, бульдог, табл. 2), а также сорта растений (махровые астры, деревья с плакучими кронами).

Возникновением только крупных мутаций нельзя объяснить все многообразие полученных сортов и пород. Во-первых, резкие мутации происходят довольно редко, во-вторых, многие из них не представляют интереса для человека (например, бесхвостые жеребята или однокопытные свиньи). В большинстве случаев селекционер имеет дело с мелкими, едва заметными мутациями. Замечая отдельных животных или растения с каким-либо ин-

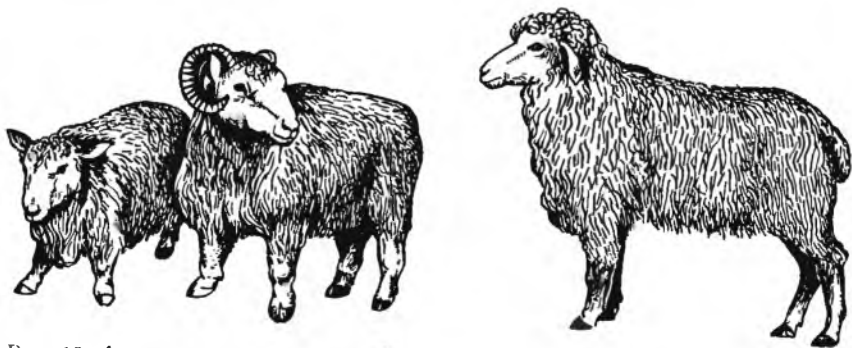


Рис. 13. Анконская мутация у овец:

коротконогие баран и овца (соответственно *слева* и *в центре*) и овца с нормальными ногами (*справа*)

тересным признаком, человек оставлял эти особи на племя, а все прочие не допускал до размножения. Из поколения в поколение в качестве производителей оставлялись только те особи, у которых данный наследственный признак был выражен более заметно. Таким образом, признак усиливался и накапливался в этой искусственной популяции.

Творческая роль искусственного отбора. Любая из форм изменчивости сама по себе не может привести к созданию породы или сорта. Наследственная изменчивость — лишь предпосылка возникновения культурных форм. Творческим фактором создания является целенаправленная деятельность человека, которую Ч. Дарвин и назвал *искусственным отбором*.

Природа поставляет самые разнообразные наследственные изменения. Человек находит среди них полезные для себя и из поколения в поколение слагает, накапливает эти изменения путем отбора. Именно поэтому все культурные формы животных и растений так или иначе приспособил человек к своим нуждам и прихотям: одни полезны как поставщики пищи, сырья, другие (меньшая часть) служат для развлечения (спортивные лошади, голуби, декоративные цветы), охраны и охоты (собаки). Таким образом, искусственный отбор — основа создания новых сортов и пород.

Ч. Дарвин указал условия, повышающие эффективность искусственного отбора: высокая степень изменчивости организмов, большое число особей, подвергаемых отбору, искусство селекционера, чистопородное разведение и изоляция подвергаемых отбору особей от других сородичей.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Как объяснить многообразие пород животных и сортов растений?
2. В чем состоит творческая роль искусственного отбора?
3. Представьте себе, что вы голубевод. В своем распоряжении вы имеете только одну форму голубей — пару диких сизых. Перед вами стоит проблема: вывести от них новую породу с черным оперением. Как вы решите эту проблему, руководствуясь учением Дарвина?

Ч. ДАРВИН О ДВИЖУЩИХ СИЛАХ ЭВОЛЮЦИИ ВИДОВ

Противоречие между интенсивностью размножения и ограниченностью средств жизни. Кто не наблюдал, как летят по ветру, подвешенные на парашютиках, семечки одуванчика? Задумайтесь, что случилось бы, если каждое семя одуванчика проросло и дало потомство? И так продолжалось бы несколько лет? Подсчитано, что уже за 10 лет потомство только одного одуванчика покрыло бы нашу планету сплошным слоем толщиной 20 см. Но есть растения, приносящие еще больше семян. Так, в коробочке мака на-

считывается до 3000 семян, а таких коробочек на одном растении бывает до десяти. Нетрудно подсчитать, сколько семян рассеивает только одно растение мака ежегодно.

Плодовиты и многие животные. Осетр живет около 50 лет. Каждый год он мечет почти 300 тыс. икринок, выметывая за свою жизнь более 15 млн. Если ни одна икринка не пропадет, то потомства одной самки осетра достаточно, чтобы заселить все наши реки. Пара слонов — одного из менее плодовитых животных, — дающая за весь период не более 6 детенышей, за 750 лет потенциально может дать потомство, исчисляющееся в 19 млн. особей. Но ни слоны, ни одуванчики не заполняют собой весь земной шар. Это происходит потому, что далеко не каждый организм доживает до половозрелого возраста: большинство особей погибает из-за недостатка места, пищи, влаги, света и других причин. Противоречие между способностью организмов к неограниченному размножению и ограниченностью средств жизни неизбежно приводит к борьбе за существование.

Борьба за существование и ее формы. Термин *борьба за существование* Ч. Дарвин использовал в метафорическом смысле, понимая под этим разнообразные взаимоотношения организмов с факторами среды и друг с другом, а не только как прямую борьбу между хищником и жертвой, сопровождающуюся кровопролитием и гибелью. Ч. Дарвин выделил три формы борьбы за существование (табл. 1).

Внутривидовая борьба протекает наиболее остро, так как все особи вида нуждаются в одних и тех же, причем сильно ограниченных ресурсах — пище, жизненном пространстве, убежищах, местах размножения. Каждый вид обладает комплексом приспособлений, уменьшающих возможность столкновения между особями (разметка границ индивидуальных участков, сложные иерархические отношения в стаде, стае и т. п.). Однако видовые приспособления, приносящие пользу виду в целом, часто наносят вред отдельным особям, приводят их к гибели. Например, зайцы-русаки при недостатке корма отгоняют конкурента от хороших участков выпаса, дерутся, преследуя самку. Внутривидовая борьба играет большую роль в эволюции, приводя к гибели отдельных особей вида, она обуславливает процветание вида в целом, способствует его совершенствованию.

Межвидовая борьба за существование происходит между разными видами. Она протекает остро, если виды относятся к одному роду и нуждаются в сходных условиях. Так, серая и черная крысы — разные виды одного рода, но серая крыса крупнее и агрессивнее и поэтому совершенно вытеснила черную крысу в поселениях человека. Последняя встречается теперь только в лесных районах и пустынях.

Межвидовая борьба за существование включает одностороннее использование одного вида другим, так называемые отношения типа хищник → жертва, паразит → хозяин, растение → тра-

войдное животное. Значение этих отношений для эволюционного процесса в том, что они влияют на внутривидовую борьбу. Например, хищник лисица усиливает конкуренцию среди жертв — зайцев. В борьбе за существование побеждают зайцы, умеющие быстро бегать и хорошо запутывать следы, а среди лисиц побеждают преуспевающие в охоте.

Примером борьбы за существование является благоприятствование одного вида другому без ущерба для себя (птицы и млекопитающие распространяют плоды и семена), взаимное приспособление видов друг к другу (цветки и их опылители). Таким образом, межвидовая борьба приводит к эволюции обоих взаимодействующих видов, к развитию у них взаимных приспособлений. Межвидовая борьба усиливает и обостряет внутривидовую борьбу.

Борьба с неблагоприятными условиями неорганической природы также усиливает внутривидовое состязание, так как особи одного вида конкурируют за пищу, свет, тепло и другие условия существования. Неслучайно про растение в пустыне говорят, что оно борется с засухой. В тундре деревья представлены карликовыми формами, хотя и не испытывают конкуренции со стороны других растений. Победителями в борьбе оказываются наиболее жизнеспособные особи (у них более эффективно протекают физиологические процессы, обмен веществ). Если биологические особенности передаются по наследству, то это в конечном счете приведет к совершенствованию видовых приспособлений к среде обитания.

Естественный отбор. Явление изменчивости было известно давно. Давно была известна и способность организмов размножаться в геометрической прогрессии. Но именно Ч. Дарвин сопоставил эти два явления в природе и сделал гениальный вывод, кажущийся нам сейчас таким простым: в процессе борьбы за существование выживают лишь те организмы, которые отличаются какими-то полезными в данных условиях особенностями. Следовательно, вероятность выживания неодинакова: особи, обладающие хотя бы незначительными преимуществами над остальными, имеют больше шансов выжить и оставить потомство. Процесс сохранения одних особей за счет гибели других Ч. Дарвин назвал *естественным отбором*. Сам термин «отбор» имеет условное значение, так как никакого отбирающего лица в природе нет. В роли оценщиков новых признаков и свойств выступают условия среды. Выбор термина оправдан аналогией между выживанием особей в природных условиях и искусственным отбором. Действительно, материалом как для естественного, так и для искусственного отбора являются мелкие наследственные изменения, которые накапливаются из поколения в поколение. Однако скорость действия искусственного отбора значительно выше (иногда сорт или порода создаются человеком в течение его жизни), и результат его — создание форм, полезных человеку. Естественный отбор без устали и перерыва происходит в течение

многих веков и приводит к образованию форм, приспособленных к среде обитания (табл. 3, 4).

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Каковы причины и следствия борьбы за существование?
2. На загущенном участке собрали значительно меньше моркови, чем на участке с нормальной густотой. Чем объяснить эти различия?
3. Селекционер создал высокоурожайный сорт огурцов для выращивания в теплице. Можно ли этот сорт выращивать в открытом грунте? При объяснении используйте учение Ч. Дарвина.
4. В чем сущность естественного отбора?

ОЦЕНКА ЭВОЛЮЦИОННОГО УЧЕНИЯ Ч. ДАРВИНА. ПОБЕДА ЭВОЛЮЦИОННОГО УЧЕНИЯ

Учение Ч. Дарвина отвечает всем требованиям, предъявляемым к научной теории. Во-первых, дарвинизм представляет собой стройную систему логических рассуждений и доказательств. Во-вторых, дарвинизм не описание совокупности фактов, а учение, вскрывающее причины эволюции и объясняющее многие явления природы. В-третьих, дарвинизм опирался на многочисленные факты из области селекции, что доказывало неразрывность этого учения с практической деятельностью человека.

Оценка эволюционного учения Ч. Дарвина. Ч. Дарвин был первым, кто вскрыл причины развития живой природы и объяснил эволюцию как самодвижение и саморазвитие, происходящее на основе чисто материальных факторов. Он объяснил две центральные проблемы эволюционной теории — происхождение приспособлений и видообразование.

По словам К. А. Тимирязева, «эволюционная идея восторжествовала именно потому, что приняла форму дарвинизма». Видный советский биолог, академик В. Л. Комаров, назвал книгу Ч. Дарвина мировоззрением.

Со времен Ч. Дарвина в науке прочно утвердился исторический метод познания, ориентирующий исследователей не только на описание явлений природы, но и на их объяснение, на установление причин явлений, этапов развития. По словам В. И. Ленина, сущность исторического метода познания состоит в том, чтобы «смотреть на каждый вопрос с точки зрения того, как известное явление в истории возникло, какие главные этапы это явление проходило, и с точки зрения этого развития смотреть, чем данная вещь стала теперь»¹.

Эволюционное учение Дарвина высоко оценили классики марксизма. В период появления дарвинизма К. Маркс и Ф. Энгельс

¹ Ленин В. И. Полн. собр. соч. — Т. 39. — С. 67.

создали новую философию — диалектико-материалистическую и блестяще применили диалектический метод к анализу общественных явлений. Важно было доказать, что диалектические законы действуют в природе. Книга Ч. Дарвина «Происхождение видов» как раз и представляла богатый материал по диалектике развития живой природы.

Сразу после выхода из печати этой книги Ф. Энгельс писал К. Марксу: «...до сих пор никогда еще не было столь грандиозной попытки доказать историческое развитие в природе, да и к тому же еще с таким успехом»¹. В письме к Ф. Энгельсу К. Маркс отмечал, что «Происхождение видов» дает естественноисторическую основу для наших взглядов»².

Самую высокую оценку учению Дарвина мы находим в речи Ф. Энгельса на могиле К. Маркса: «Подобно тому, как Дарвин открыл закон развития органического мира, Маркс открыл закон человеческой истории»³. Словно продолжая эту мысль, В. И. Ленин писал: «Как Дарвин положил конец воззрению на виды животных и растений, как на ничем не связанные, случайные, «богом созданные» и неизменяемые, и впервые поставил биологию на вполне научную почву, установив изменяемость видов и преемственность между ними, — так и Маркс положил конец воззрению на общество, как на механический агрегат индивидов...»⁴.

Ф. Энгельс правильно предвидел: дарвинизм стал фундаментом современной науки об эволюции живой природы. Однако предстоял еще длительный этап развития дарвиновского учения и острая идейная борьба вокруг основных его положений.

Победа эволюционной идеи. Уже в 1860 г. ученые многих стран с воодушевлением приняли учение Дарвина. По словам самого Ч. Дарвина, главным борцом за дарвинизм в Англии, с гордостью называвшим себя «бульдогом дарвинизма», был зоолог Томас Гексли. В лекциях на тему «Положение человека в природе» Т. Гексли первый привел палеонтологические, морфологические, эмбриологические доказательства родства человека с высшими обезьянами. Глубокое понимание закономерностей эволюции, блестящий талант оратора обеспечили Т. Гексли победу в споре с противником эволюционного учения епископом Вильберфорским.

В России учение Дарвина сразу нашло горячую поддержку. Причина этого кроется в прочности материалистических традиций в понимании развития природы, заложенных еще М. В. Ломоносовым, А. Н. Радищевым, А. И. Герценом. Существенно то, что проникновение дарвинизма в Россию началось в условиях подъема общественно-политической жизни. Значительную роль в этом сыграла деятельность революционеров-демократов. Материали-

¹ Маркс К., Энгельс Ф. Соч. — Т. 29. — С. 424.

² Там же. — Т. 30. — С. 102.

³ Там же. — Т. 19. — С. 350.

⁴ Ленин В. И. Полн. собр. соч. — Т. 1. — С. 139

стический дух учения Дарвина был отражен в статьях Д. И. Писарева под общим названием «Прогресс в мире животных и растений». Выступления К. А. Тимирязева, Д. И. Писарева и других пропагандистов дарвиновского учения во многом способствовали тому, что революционно настроенная молодежь 60-х годов прошлого века с энтузиазмом посвящала себя биологическим исследованиям.

Молодые сторонники учения Дарвина: Владимир и Александр Ковалевские, Н. А. Северцов, И. И. Мечников, К. А. Тимирязев, А. Н. Бекетов, М. А. Мензбир в России, Томас Гексли, Альфред Уоллес, Филипп Склетер в Англии, Эрнст Геккель в Германии, Луи Долло в Бельгии, Аза Грей в США — приложили огромные усилия в пропаганде дарвинизма в своих странах. Они создали новые научные направления: эволюционную палеонтологию (В. О. Ковалевский, Л. Долло), эволюционную эмбриологию (Э. Геккель, Ф. Мюллер, А. О. Ковалевский, И. И. Мечников), эволюционную морфологию (Э. Геккель, А. Дорн, Л. Долло), историческую биогеографию (Ф. Склетер, А. Уоллес, Н. А. Северцов, М. А. Мензбир).

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Почему учение Дарвина об эволюции органического мира получило высокую оценку основоположников марксизма-ленинизма?
2. Какое влияние оказало учение Дарвина на развитие биологической науки?
3. В чем заключается мировоззренческое значение учения Дарвина?

ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ, СРАВНИТЕЛЬНО-АНАТОМИЧЕСКИЕ И ЭМБРИОЛОГИЧЕСКИЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ЭВОЛЮЦИИ

Ч. Дарвин доказал историческое развитие живой природы, но в последующие годы сбор прямых и косвенных доказательств эволюции продолжался.

Филогенетические ряды. Выдающиеся достижения в накоплении прямых доказательств эволюции принадлежат отечественным ученым, прежде всего В. О. Ковалевскому. Работы В. О. Ковалевского были первыми *палеонтологическими* исследованиями, которыми удалось показать, что одни виды происходят от других.

Исследуя историю развития лошадей, В. О. Ковалевский показал, что современные однопалые животные происходят от мелких пятипалых всеядных предков, живших 60—70 млн. лет назад в лесах. Изменение климата Земли, повлекшее за собой сокращение площадей лесов и увеличение размеров степей, привело к тому, что предки современных лошадей начали осваивать новую среду обитания — степи. Необходимость защиты от хищников и передви-

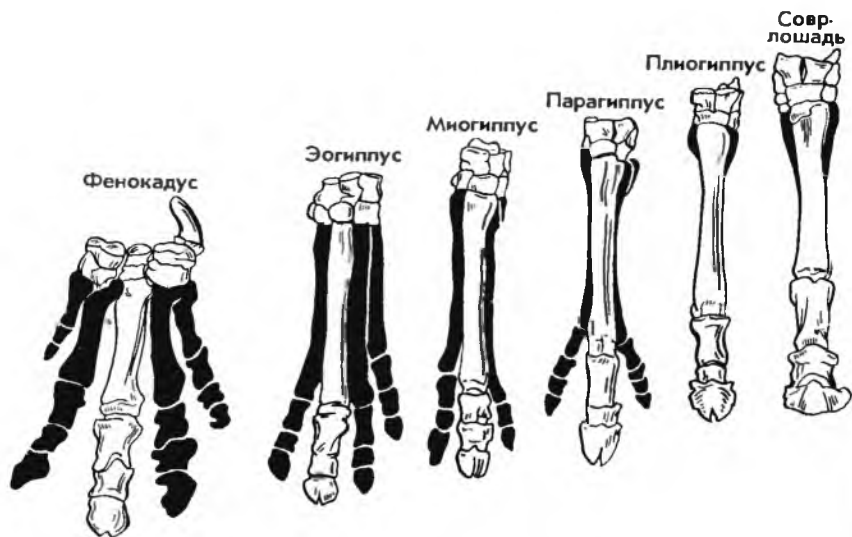


Рис. 14. Преобразование конечностей предков лошадей из пятипалой в трехпалую и затем в однопалую

жений на большие расстояния в поисках хороших пастбищ привела к преобразованию конечностей — уменьшению числа фаланг вплоть до одной (рис. 14). Параллельно изменению конечностей происходило преобразование всего организма: увеличение размеров тела, изменение формы черепа и усложнение строения зубов, возникновение свойственного травоядным млекопитающим пищеварительного тракта и многое другое.

В. О. Ковалевский обнаружил последовательные ряды ископаемых форм лошадиных, эволюция которых совершалась в указанных направлениях. Такие ряды видов, последовательно сменяющих друг друга, называются *филогенетическими* и свидетельствуют о существовании эволюционного процесса.

Переходные формы. Установление факта постепенного эволюционного развития в линиях невысокого систематического ранга (ряды ископаемых лошадей, слонов, моллюсков) показало существование преемственности между современными и ископаемыми видами. Не в силах опровергнуть эти факты, противники эволюционной теории утверждали, что систематические группы более высокого ранга не могли произойти друг от друга, а явились результатом отдельного акта творения. Поэтому особый интерес представляют ископаемые формы, сочетающие признаки древних и более молодых групп высокого систематического ранга. Такие формы называются *переходными*. Примером их могут служить кистеперые рыбы, связывающие рыб с вышедшими на сушу четвероногими земноводными; семенные папоротники — переходная группа между папоротникообразными и голосеменными и др.

Существование переходных форм между разными типами, классами, отрядами показывает, что постепенный характер исторического развития свойствен не только низшим, но и высшим систематическим категориям.

Гомологичные и аналогичные органы, рудименты и атавизмы. Сравнительно-анатомические исследования показали, что строение передних конечностей некоторых позвоночных, например лапы кита, лапы крота, крокодила, крылья птицы, летучей мыши, руки человека, несмотря на выполнение совершенно разных функций, в принципиальных чертах строения сходны. Некоторые кости в скелете конечностей могут отсутствовать, другие срастаться, относительные размеры костей могут меняться, но их *гомология*, т. е. сходство, основанное на общности происхождения, совершенно очевидна. Гомологичными называются такие органы, которые развиваются из одинаковых эмбриональных зачатков сходным образом (рис. 15).

Наличие у организмов разных групп (классов, семейств и т. д.) гомологичных органов дает возможность установить степень родства между ними, проследить их эволюцию. Видоизменение органов, имеющих общее происхождение, объясняется *дивергенцией* по признаку строения данного органа в связи с приспособлением к среде обитания.

Не всякое сходство органов свидетельствует в пользу их родства. Крыло бабочки и крыло птицы выполняют сходную функцию, но их строение совершенно различно. Сходство вызвано образом жизни, приспособлением к полету, возникшим независимо друг от друга у бабочек и птиц, а не родственным происхождением этих форм. Органы, имеющие внешнее сходство, вызванное сходными приспособлениями к сходным условиям жизни, но различное строение, называются аналогичными. *Аналогичные органы* возник-

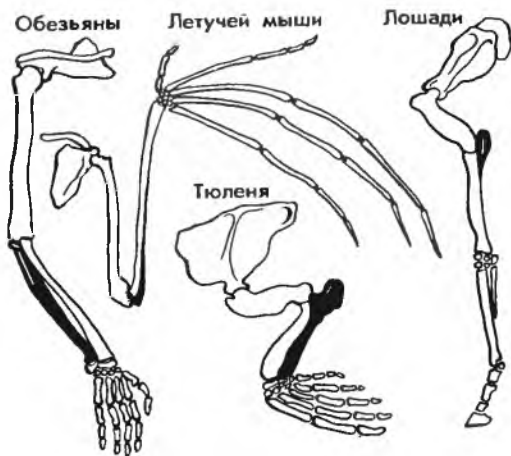


Рис. 15. Сходство строения передних конечностей обезьяны, летучей мыши, тюленя и лошади свидетельствует об их гомологичности, т. е. о происхождении от единой предковой формы



Рис. 16. Конвергенция по форме тела у прыгающих млекопитающих

ли в результате *конвергенции* — схождения признаков и не свидетельствуют о родстве между организмами.

Некоторые органы или их части не функционируют у взрослых животных и являются для них лишними — это *рудиментарные органы*, или рудименты. Наличие рудиментов, так же как и гомологичных органов, свидетельствует об общности происхождения живых форм. Задние конечности у кита, скрытые внутри тела, — рудимент, доказывающий наземное происхождение его предков. У человека тоже известны рудиментарные органы: мышцы, двигающие ушную раковину, рудимент третьего века и т. п.

У некоторых организмов рудиментарные органы могут развиться до органов нормальных размеров. Такой возврат к строению органа предковых форм называется *атавизмом*. Среди тысяч однопалых лошадей изредка попадаются особи, у которых развиты маленькие копытца II и IV пальцев. Известны случаи появления атавистических признаков и у человека: рождение детей с первичным волосатым покровом, с длинным хвостиком и т. д. Возникновение атавизмов указывает на возможное строение того или иного органа у предковых форм.

Сходство зародышевого развития позвоночных. Факт единства происхождения живых организмов был установлен на основе *эмбриологических* исследований. Все многоклеточные животные развиваются из одной оплодотворенной яйцеклетки. В процессе индивидуального развития они проходят стадии дробления, образования двух- и трехслойного зародышей, формирования органов из зародышевых листков. Сходство зародышевого развития животных свидетельствует о единстве их происхождения.

С особой отчетливостью сходство эмбриональных стадий выступает в пределах отдельных типов и классов. Так, на ранних стадиях развития у зародышей позвоночных (рыбы, ящерицы,

кролика, человека) наблюдается поразительное сходство: все они имеют головной, туловищный и хвостовой отделы, зачатки конечностей, по бокам тела — зачатки жабр (рис. 17).

По мере развития зародышей черты различия выступают все более явственно. Причем вначале проявляются признаки класса, к которому относятся зародыши, затем признаки отряда и на еще более поздних стадиях — признаки рода и вида. Эта закономерность в развитии зародышей указывает на их родство, происхождение от одного ствола, который в ходе эволюции распался на множество ветвей.

Биогенетический закон. Основываясь на приведенных выше, а также множестве других фактов, немецкие ученые Ф. Мюллер и Э. Геккель во второй половине XIX в. установили *закон соотношения онтогенеза*, который получил название *биогенетического закона*. Согласно этому закону каждая особь в индивидуальном развитии (онтогенезе) повторяет историю развития своего вида (филогенез), или, короче, онтогенез есть краткое повторение филогенеза.

Однако за короткий период индивидуального развития особь не может повторить все этапы эволюции, которая совершалась тысячи или миллионы лет. Поэтому повторение стадий историче-

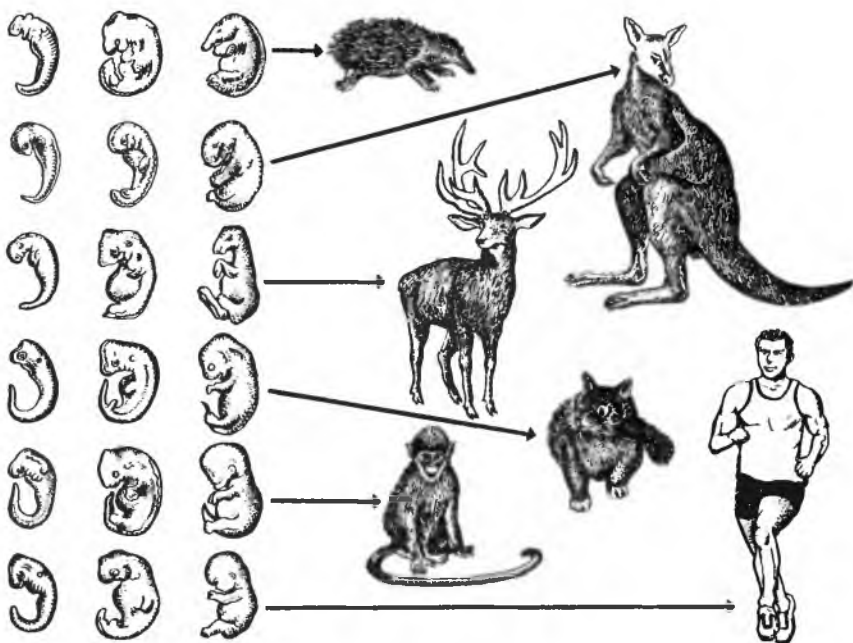


Рис. 17. Сходство начальных стадий онтогенеза позвоночных свидетельствует о их родстве и указывает на пройденные в процессе филогенеза этапы

ского развития вида в зародышевом развитии происходит в сжатой форме, с выпадением ряда этапов. Кроме того, эмбрионы имеют сходство не со взрослыми формами предков, а с их зародышами. Так, в онтогенезе млекопитающих и рыб имеется этап, на котором у зародышей образуются жаберные дуги. У зародыша рыбы на основании этих дуг образуется орган дыхания — жаберный аппарат. В онтогенезе млекопитающих повторяется не строение жаберного аппарата взрослых рыб, а строение закладок жаберного аппарата зародыша, на основе которых у млекопитающих развиваются совершенно иные органы (хрящи гортани и трахеи). В разработке теории онтогенеза выдающуюся роль сыграли исследования академика А. Н. Северцова. Он доказал, что изменения исторического развития обусловлены изменениями хода зародышевого развития. Наследственные изменения затрагивают все стадии жизненного цикла, в том числе и зародышевый период. Мутации, возникающие в ходе развития зародыша, как правило, нарушают взаимодействие в организме и ведут к его гибели. Однако мелкие мутации могут оказаться полезными и тогда сохраняются естественным отбором. Они передадутся потомству, включатся в историческое развитие, влияя на его ход.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Какие доказательства эволюции представляет палеонтология?
2. Приведите примеры современных и ископаемых переходных форм.
3. Как удалось восстановить эволюцию лошадей? Какие органы у этих животных претерпели наибольшее изменение?
4. Найдите гомологичные органы у лошади и слона и объясните наличие их у данных животных.
5. Как можно объяснить наличие рудиментов и атавизмов у растений и животных? Что доказывает сам факт существования таких органов?
6. На каких этапах развития зародыши позвоночных обнаруживают наибольшее сходство между собой? О чем это свидетельствует?
7. На каких этапах развития зародыши позвоночных животных сильно различаются между собой? О чем это говорит?

БИОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ЭВОЛЮЦИИ

Сравнение фаун и флор разных континентов. Яркое свидетельство эволюционного процесса — распространение животных и растений по поверхности нашей планеты. Во все времена путешественников и натуралистов поражало своеобразие растительного и животного мира Австралии, Южной Америки, океанических островов и вызывало интерес сходство фауны некоторых материков, например Северной Америки и Евразии. А. Уоллес привел

все сведения в систему и выделил шесть зоогеографических областей: 1) Палеоарктическую, охватывающую Европу, Северную Африку, Северную и Среднюю Азию, Японию; 2) Неоарктическую, включающую Северную Америку; 3) Эфиопскую, включающую Африку к югу от пустыни Сахара; 4) Индомалайскую, охватывающую Южную Азию и Малайский архипелаг; 5) Неотропическую, занимающую Южную и Центральную Америку; 6) Австралийскую, включающую Австралию, Новую Гвинею, Новую Зеландию, Тасманию, Соломоновы острова и Новую Каледонию (рис. 18). Степень сходства и различия между разными зоогеографическими областями неодинакова. Фауна и флора Палеоарктической и Неоарктической областей имеют много общего, хотя и изолированы Беринговым проливом. Неоарктическая и Неотропическая области, наоборот, существенно отличаются, хотя и соединены сухопутной связью (Панамским перешейком). В чем же причины этого сходства и различия? Очевидно, они связаны с историей формирования материков, временем их изоляции. Так, глубокое различие в фауне Неотропической и Неоарктической областей определяется тем, что сухопутная связь между ними установилась совсем недавно. Об этом свидетельствуют геологические данные. После возникновения Панамского моста лишь немногим южноамериканским видам удалось проникнуть на север (например, дикобраз, броненосец, опоссум). Североамериканские виды преуспели в освоении южноамериканской области несколько больше. Олени, лисы, выдры, медведи проникли в Южную Америку, но не оказали существенного влияния на ее

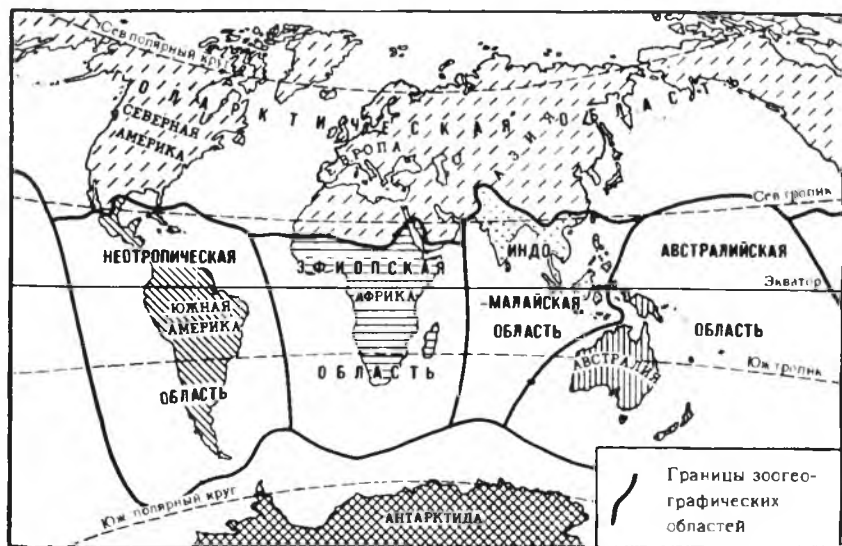


Рис. 18. Карта зоогеографических зон

уникальный видовой состав. Только здесь живут представители отряда неполнозубых (муравьеды и ленивцы), сохранились птицы гоацины, которые могут лазать по деревьям благодаря когтям на пальце крыла (как археоптерикс), и другие животные. Своеобразие фауны Южной Америки было одним из фактов, натолкнувших Ч. Дарвина на мысль об эволюции. Сходство фауны Неоарктической и Палеоарктической областей обусловлено тем, что в прошлом между ними существовал сухопутный мост — Берингов перешеек.

Наиболее отличен от других континентов животный мир Австралии. Известно, что Австралия обособилась от Южной Азии свыше 100 млн. лет назад, еще до возникновения высших млекопитающих. Лишь в Ледниковый период сюда через острова Зондского архипелага перебрались немногие плацентарные — мыши и собаки (потомок последних — австралийская собака динго). В остальном фауна Австралии очень своеобразна.

Таким образом, чем теснее связь континентов, тем более родственные формы там обитают, чем древнее изоляция частей света друг от друга, тем больше различия между их населением.

Фауна островов. Видовой состав фауны и флоры островов целиком определяется историей их происхождения. Острова могут быть материковыми, представлять собой результат обособления части материка и океаническими (вулканические и коралловые острова). Растительный и животный мир первых близок по составу к материковому. На Британских островах и на Сахалине большинство видов сходно с близлежащими районами континента. Это объясняется тем, что острова лишь несколько тысяч лет назад отделились от суши. Однако чем древнее остров и чем более значительна водная преграда, тем больше обнаруживается отличий. На Мадагаскаре нет типичных для Африки крупных копытных: быков, антилоп, зебр, нет и крупных хищников (львов, леопардов, гиен), высших обезьян. Однако Мадагаскар — последнее убежище лемуру. Когда-то, до появления обезьян, лемуры были доминирующими приматами. Но они не могли соперничать со своими более развитыми сородичами и исчезли повсюду, кроме Мадагаскара, который отделился от материка прежде, чем эволюционировали обезьяны. Другая большая группа мадагаскарских животных — тенреки и виверры — древние, мало изменившиеся за длительный период изоляции примитивные плацентарные млекопитающие. Мадагаскар обладает широким разнообразием мест обитания, и неудивительно, что он приютил большое количество различных птиц, 46 родов которых не встречаются больше нигде в мире. Трудно представить себе более причудливое животное, чем мадагаскарский хамелеон. Хамелеоны обитают и в Африке, но мадагаскарские виды крупнее и разнообразнее. К ним принадлежит самый большой хамелеон Устале длиной 60 см. У некоторых хамелеонов Мадагаскара на конце морды расположены рога, что делает их похожими на грозных миниатюрных динозав-

ров. Любопытно, что при изобилии ядовитых змей на африканском континенте они отсутствуют на острове. Здесь широко представлены питоны и другие неядовитые змеи. Согласно истории живого мира змеи появились довольно поздно по сравнению с другими рептилиями, причем ядовитые змеи — самые из них молодые. Не значит ли это, что Мадагаскар отделился от континента до появления там змей? Мадагаскар — прекрасное место для лягушек, которых здесь насчитывается около 150 видов.

Иная картина обнаруживается при рассмотрении фауны океанических островов. Ее видовой состав беден и является результатом случайного занесения некоторых видов, обычно птиц, рептилий, насекомых. Наземные млекопитающие, амфибии и другие животные, не способные преодолевать значительные водные преграды, на большинстве таких островов отсутствуют. Приведем пример. Галапагосские острова удалены от берегов Южной Америки на 700 км. Это расстояние могут преодолеть только хорошо летающие формы. Оказалось, что 15% видов птиц Галапагоса представлены южноамериканскими видами, а 85% видов птиц отличны от материковых и нигде, кроме этого архипелага, не встречаются. Именно это с удивлением и наблюдал Ч. Дарвин на Галапагосских островах. Он обнаружил там птиц, которые хотя и напоминали вьюрков, виденных им в Южной Америке, но все были специализированы и мало похожи друг на друга. У этих 14 видов птиц, имевших общего предка, конкурентная борьба за корм и места гнездования была ослаблена или исчезла вовсе. Ч. Дарвин провел лишь три недели на раскаленных скальных островах, однако увиденное послужило ему материалом для размышлений на долгие годы. Особенно пристальное внимание он обратил на клюв вьюрков: у одних клюв был толстый, дробящий, у других — длинный, у третьих — острый, как ножницы. К одному из шести родов относится дятловый древесный вьюрок, одно из редких в мире животных, использующих орудия. К сожалению, Ч. Дарвин не увидел эту замечательную птицу за

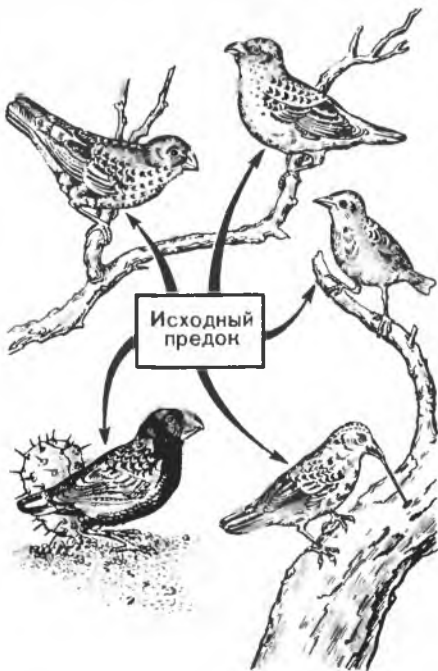


Рис. 19. Видовое разнообразие вьюрков на Галапагосских островах

работой, когда она колючкой кактуса выковыривает из древесной коры насекомых и личинок, подобно тому, как это делают дятлы клювом. Галапагосские вьюрки вошли в историю как первый пример влияния изоляции на развитие видов (рис. 19). Сегодня таких примеров известно много. Ч. Дарвин не побывал на Гавайских островах, где эффект изоляции проявляется еще более наглядно на гавайских цветочницах и улитках, прежде всего потому, что они обитают на этих отдаленных островах много дольше, чем вьюрки на Галапагосах.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Что отражают зоогеографические области?
2. В чем причина сходства флоры и фауны Неоарктической и Палеоарктической областей?
3. Почему сумчатые животные встречаются только в Австралийской области?
4. От чего зависит разнообразие растительного и животного мира островов?
5. Какое значение имели вьюрки Галапагоса для подтверждения теории Ч. Дарвина?

ВИД, ЕГО КРИТЕРИИ

Вид — одна из основных форм организации живого (наряду с клеткой, организмом, биогеоценозом). Особи, принадлежащие к одному виду, не скрещиваются с особями другого вида, характеризуются генетической общностью, морфологическим сходством, единством происхождения. Вид существует во времени: он возникает, распространяется (в период расцвета), может сохраняться неопределенно долгое время в устойчивом, почти неизменном состоянии (реликтовые виды) или непрерывно изменяться. Конечная судьба вида различна: одни из них со временем исчезают, не оставляя новых ветвей, другие дают начало новым видам.

Вид как таксономическая категория. *Вид* — основная категория биологической классификации. В ряду таксономических категорий вид как таксономическая единица (*таксон*) находится ниже подрода, но выше подвида. Понятие *вид* впервые ввел английский ботаник Рей в конце XVII в. К разным видам он отнес формы, которые по отношению к виду различны, сохраняют эту свою видовую природу различной, ни одна из которых не происходит из семян другой, и наоборот. К. Линней, заложивший основы систематики растений и животных, ввел для обозначения вида двойную (бинарную) номенклатуру, согласно которой сначала указывают род, к которому относится вид (существительное), а затем видовой эпитет (прилагательное), далее ставится сокращенная фамилия автора, впервые описавшего этот вид. Например, *Canis lupus* L. (волк); *Canis familiaris* L. (собака домашняя);

Л — начальная буква фамилии ученого (Линней), впервые описавшего этот вид. К. Линней считал, что вид не претерпевает существенных изменений и число видов постоянно. Представление о виде как этапе эволюции идет от Ч. Дарвина, который справедливо считал проблему видообразования центральной проблемой эволюционного учения.

Морфологический критерий вида. Порой самые опытные биологи становятся в тупик, определяя, принадлежат ли данные особи к одному виду или нет. Почему так происходит, существуют ли точные и строгие *критерии*, которые помогли бы разрешить все сомнения?

Основным критерием вида у Ч. Дарвина и большинства систематиков-дарвинистов второй половины XIX — первой половины XX в. было *морфологическое различие* между разными видами и отсутствие такого различия между подвидами одного вида. Действительно, особи разных, даже близких видов отличаются по размерам (самые мелкие горностаи крупнее самых крупных ласок), по окраске (белый и бурый медведь) и другим морфологическим признакам. Однако в настоящее время накоплено достаточное количество фактов, свидетельствующих о том, что существуют виды-«двойники», не имеющие заметных морфологических различий, но в природе не скрещивающиеся между собой из-за разных хромосомных наборов. Выяснено, например, что под названием «малярийный комар» скрывается на самом деле несколько (до 15) внешне неразличимых видов-«двойников». Установлено, что под названием «черная крыса» скрываются два вида-«двойника»: 38-хромосомные крысы, связанные своим распространением с экспансией индоевропейских цивилизаций (вся Европа, Африка, Америка, Австралия, Новая Зеландия, Азия к западу от Индии), и 42-хромосомные крысы, связанные своим распространением с монголоидными оседлыми цивилизациями (Азия к востоку от Бирмы).

Благодаря усовершенствованию цитологических методов исследования, число обнаруженных видов-«двойников» быстро увеличивается. Следовательно, морфологический критерий оказывается недостаточным для выделения видов в природе.

Географический критерий. Каждый вид занимает определенное пространство, или *реал*. В связи с этим виды могут быть широко распространенными и *эндемичными* (с ограниченным ареалом). Виды, возникшие в одном ареале, в процессе эволюции могут его расширить или изменить. Так, мамонтово дерево и секвойя вечнозеленая — реликтовые виды, возникшие в меловом периоде; они были широко распространены по северному полушарию в третичном периоде, а ныне являются эндемиками Калифорнийского побережья Северной Америки.

Характеристика ареала вида (его размеры, форма и т. д.) — *важнейший видовой признак*, так как связана с историей возникновения вида. Однако существуют виды с совпадающими ареалами

(совместно живущие на одном пространстве), виды-космополиты, занимающие огромные пространства в биосфере Земли. Поэтому одного географического критерия недостаточно для установления видовой принадлежности.

Экологический критерий. Все особи одного вида отличаются от особей другого вида способом питания, местом обитания. Например, разные виды синиц: большая синица, лазоревка, московка, гайчка — питаются разными насекомыми и добывают пищу на своей территории (на коре или в трещинах древесины, в пазухах листьев или на кончиках веток). Но *экологический критерий* нельзя считать универсальным критерием вида. Известно, что некоторые виды имеют сходные экологические особенности. Так, все виды китов питаются планктонными ракообразными. Волки, обитающие в тундре, имеют иные особенности образа жизни, чем волки, обитающие в лесостепной зоне, хотя и те и другие относятся к одному виду.

Этологический критерий. В поведении особей большинства видов существуют определенные видовые признаки, так же характеризующие вид, как и морфологические, экологические и другие признаки. *Различия в поведении* между близкими видами прежде всего наблюдаются в период спаривания. Например, достаточно самцу одного из видов дальневосточных зуйков, обитающих вместе с другим близким видом, дернуть хвостом не три, а два раза (что характерно для другого вида), как самка уже не подпустит к себе этого самца. К этологическим относятся различия в брачных песнях, голосах совместно обитающих видов животных. Но и данный критерий не может быть универсальным.

Биохимический критерий. Особи одного вида имеют единую структуру ДНК, что обуславливает синтез одинаковых белков, отличающихся от белков другого вида. Вместе с тем у некоторых бактерий, грибов, высших растений состав ДНК оказался очень близким. Иначе говоря, есть виды-«двойники» и по биохимическим признакам.

Генетический критерий. *Главное свойство вида* — его *генетическая обособленность*. Как правило, особи разных видов не скрещиваются между собой. Если же межвидовые скрещивания все же удаются, то образуются неполноценные и нежизнеспособные гаметы, зиготы, эмбрионы и потомки. В тех же редких случаях, когда потомство вырастает здоровым, оно оказывается неплодовитым (мулы — гибриды лошади с ослом, как известно, не размножаются). Это объясняется тем, что *виды различаются числом, размерами и формой хромосом*, что затрудняет протекание процесса мейоза и обеспечивает относительную генетическую обособленность видов: обмен генами между разными видами осуществляется с трудом. Благодаря этому мы и наблюдаем многообразие растительного и животного мира на Земле. Таким образом, *генетический критерий вида* (характерный для него набор хромосом) является главным. Однако и он не может быть

универсальным, так как в некоторых группах растений межвидовые гибриды встречаются в природе. Например, в семействе розоцветных межвидовые скрещивания удаются сравнительно легко. У животных межвидовые гибриды крайне редки.

Таким образом, только учет всех или большинства критериев позволяет очертить границы каждого конкретного вида.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Приведите примеры видов животных и растений, встречающихся в вашей местности.
2. Сравните виды вьюрков одного рода на рисунке 19 и опишите морфологические различия. Почему морфологического критерия недостаточно для определения видовой принадлежности особей?
3. Каковы критерии вида? Почему для определения вида необходим учет всех критериев?

ПОПУЛЯЦИОННАЯ СТРУКТУРА ВИДА

Популяция — структурная единица вида. Население любого вида распределено в пространстве крайне неравномерно, группами. Например, двудомная крапива в пределах своего ареала встречается только во влажных тенистых местах с плодородными почвами, образуя заросли в поймах рек, ручьев, вокруг озер, по окраинам топей. Капустных белянок можно увидеть там, где выращивается капуста — на огородах и полях. Колонии европейского крота, хорошо заметные по холмикам земли, поселяются на лесных опушках и лугах.

Подходящие для жизни места обитания хоть и встречаются часто в пределах ареала вида, но не покрывают весь ареал, и поэтому на других его участках особи данного вида не встречаются (нет смысла искать крота вблизи болот или скал). Различные виды рыб и водных растений обитают только в водах ареала.

Группы особей одного вида могут быть большими и маленькими, существовать длительно (на протяжении столетий и больше) или всего в течение жизни 2—3 поколений. В результате весеннего разлива рек образуются временные водоемы, лужи, в которые могут попасть мальки рыб, отложить икру лягушки, развиваться личинки стрекоз и комаров. Но эти небольшие группы животных обречены, так как под лучами летнего солнца водоем пересохнет, и они погибнут. Гораздо важнее для эволюции судьба группы особей, которая устойчиво сохраняется на протяжении жизни многих поколений. Население большого озера, то увеличиваясь, то сокращаясь в численности, может существовать довольно длительное время. Такие группы особей одного вида, длительно существующие в определенной части его ареала, называются *популяциями*.

Популяция — надорганизменная форма организации живого. Почему популяция способна к длительному существованию? Это объясняется тем, что популяция представляет собой не хаотичное скопление особей, а *устойчивое целостное образование — надорганизменную форму организации жизни*. Особи популяции различаются по возрасту, полу, генотипу и тесно связаны между собой. Особенно ярко эта взаимосвязь проявляется в популяциях животных. При этом некоторые связи обеспечивают существование отдельной особи: птицы и млекопитающие метят свои индивидуальные участки, охраняют свою территорию от сородичей и т. д. Но многие связи направлены на воспроизводство популяции, прежде всего это связи между полами и возрастными группами. Особи разного пола находят друг друга по запаху, звукам, вступают в брачные отношения, строят или находят убежища, выкармливают детенышей, родители (в разной степени) проявляют заботу о потомстве. Например, необходимость установления прочной связи с детенышем заставляет многих животных во время размножения покидать стадо (антилопы, зубры, северные олени). Так, в период отела самка северного оленя вместе с детенышем выходит на край стада. Она кричит часа два, потом смолкает. Теперь, находясь в стаде, олененок уверенно отличит голос матери от голосов других оленей.

Устойчивая популяция включает все возрастные группы — от новорожденных до стариков. В популяции, клонящейся к закату, слишком много старых особей.

Воспроизводство популяции, ее длительное устойчивое существование зависят и от численности составляющих ее особей, которая различна у разных видов. Например, популяции насекомых включают многие сотни тысяч особей, а популяции крупных млекопитающих могут состоять из сотен особей. Точных данных о численности популяций даже самых обычных видов собрано еще недостаточно. Однако замечено, что численность популяций постоянно колеблется: от нескольких раз до нескольких сотен, а иногда и тысяч раз. Достаточно вспомнить вспышки размножаемости патогенных микроорганизмов (пандемии гриппа), насекомых-вредителей (саранча, колорадский жук). Причины и эволюционное значение таких колебаний будут рассмотрены позднее. Пока же отметим, что популяция не сможет длительно существовать, если ее численность будет ниже некоторых пределов.

Относительная обособленность популяции и ее способность к эволюции. Важная особенность популяции — большое генотипическое сходство составляющих ее особей и как следствие — сходство во всех свойствах и признаках по сравнению с особями даже соседних популяций того же вида. Это объясняется тем, что внутри популяции *случайное свободное скрещивание* и «перемешивание» особей осуществляется легче и чаще, чем между разными популяциями из-за их территориальной обособленности друг от

друга. Например, одна дубрава от другой находится за несколько километров, а пыльца дуба разносится на несколько сот метров. Однако в сильные бури пыльца, подхватываемая ветром, может переноситься на значительно большие расстояния и достигать соседней популяции. Другими словами, обособленность популяций относительна. Понятно, почему важно знать расстояние, на которое перемещаются особи в природе, т. е. как далеко они могут перенести свои гены и передать их следующему поколению.

Итак, для популяции характерна сильная, хотя и не абсолютная обособленность от других популяций этого вида, обеспечивающая большое *генотипическое сходство* составляющих ее особей. Вместе с тем у отдельных особей популяции хотя и медленно, но непрерывно возникают наследственные изменения, которые в результате свободного скрещивания распространяются в популяции и приводят к генетической разнородности составляющих ее особей. Неоднородность особей в популяции создает условия для действия естественного отбора. Следовательно, эволюционный процесс начинается в недрах вида — в популяциях. Вот почему без понимания существа вида, его популяционной структуры нельзя понять закономерности эволюции.

Вид — генетически целостная и замкнутая система. Наиболее существенной характеристикой вида является то, что *вид представляет собой генетически целостную и замкнутую систему*. Благодаря целостности вида особи разных популяций могут скрещиваться между собой. Поэтому в случае появления благоприятной мутации последняя, переходя от популяции к популяции, в сравнительно ограниченное число поколений может быстро распространиться по всему ареалу вида, но она не может перейти из одного вида в другой из-за обособленности видов друг от друга специальными барьерами (различия в сроках размножения, в брачном поведении, в хромосомных наборах и т. п.).

Представление о структуре вида будет не полным, если не указать, что группы популяций, заметно отличающиеся друг от друга по фенотипу и генотипу, объединяются в *подвиды*. В пределах ареала обыкновенной белки выделяют до 20 подвидов. На Дальнем Востоке живут белки с очень темной, почти черной окраской шкурки, на юге Западной Сибири живет серая белка-телеутка с серым хвостом, в европейской части Советского Союза обитают белки с рыжим хвостом и т. д. Однако границы между подвидами не очень четки, так как подвиды одного вида способны скрещиваться между собой. Число подвидов в пределах вида зависит не только от размера видового ареала, но и от подвижности особей. У кочующих животных, например песцов, в тундрах Евразии обитает лишь один подвид, а два подвида живут на Командорских островах (остров Беринга и остров Медный), где каждый подвид представлен единственной популяцией.

Подвиды, как и популяции, представляют собой форму существования вида, обеспечивающую приспособленность его к кон-

критным условиям среды (табл. 3). Это дает возможность виду занимать большой ареал несмотря на разнообразие условий в его пределах, поддерживать на некотором уровне численность, т. е. длительно устойчиво существовать. Процветающие виды состоят из большого числа популяций и подвидов, а зарождающиеся или вымирающие виды представлены немногими или даже одной популяцией. Примером последних служат некоторые реликтовые (белый медведь) и многие островные виды.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Почему особи вида распространены в пределах его ареала не равномерно, а группами?
2. Можно ли согласиться с утверждением, что виды состоят из особей? Аргументируйте свой ответ.
3. Чем отличаются понятия «особь», «популяция», «сорт», «порода», «вид»?
4. Можно ли считать популяцией группу рыжих полевок, состоящую из нескольких десятков особей и существующую на протяжении одного-двух поколений?
5. Почему популяция способна к длительному устойчивому существованию?
6. Почему популяция способна к эволюции?
7. Докажите, что вид — генетически целостная и замкнутая система.

Глава III. МИКРОЭВОЛЮЦИЯ

При изучении эволюции живых существ можно попытаться охватить в основных чертах сразу весь процесс развития и разнообразия жизни — с момента ее возникновения на Земле (более 3,5 млрд. лет назад) и до настоящего времени. Можно сосредоточиться на истории развития какой-либо конкретной группы, например динозавров, длившейся полторы сотни миллионов лет. Но можно ограничиться и проблемой возникновения, изменения, вымирания отдельных видов и популяций, т. е. изучить процессы, протекающие в обозримый для человечества отрезок времени — десятилетия, столетия, тысячелетия.

Эволюция, идущая на уровне ниже вида (популяций, подвидов) и завершающаяся видообразованием, называется *микроэволюцией*. Микроэволюционные явления и процессы нередко совершаются в сроки, доступные непосредственному наблюдению.

Эволюция на уровне систематических единиц выше вида, протекающая миллионы лет и недоступная поэтому непосредственному изучению, называется *макроэволюцией*. Процессов макроэволюции мы непосредственно не видим, но можем наблюдать

их результаты: современные организмы или остатки живших ранее существ.

Основоположник представлений о механизме эволюции Ч. Дарвин считал этот процесс единым и, следовательно, макроэволюцию — прямым продолжением микроэволюции. Этой же точки зрения придерживается большинство современных исследователей. Таким образом, можно предположить, что, исследуя движущие силы микроэволюции, можно объяснить и макроэволюцию.

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ДАРВИНИЗМА. ФОРМИРОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ЭВОЛЮЦИИ

Кризис эволюционной теории в первой четверти XX в. В начале нашего века внимание исследователей было приковано к изучению закономерностей наследственности и изменчивости. Во времена Ч. Дарвина наследственность представляли как общее свойство всякого организма, присущее ему как целому («слитная наследственность»). С этим связано одно из возражений против теории естественного отбора, казавшееся самому Ч. Дарвину очень серьезным. Суть возражения сводилась к следующему. Пусть Дарвин прав и эволюция организмов основывается на незначительных наследственных изменениях отдельных особей, накапливаемых естественным отбором. Но новые признаки слабо выражены и проявляются у отдельных особей. Поэтому при скрещивании этих особей с другими, не имеющими нового признака, не минуемо должно происходить как бы «разбавление» полезного новоприобретения вдвое в каждом последующем поколении. Постепенно новый признак практически исчезнет, распределившись между множеством особей. Однако это возражение совершенно несостоятельно, так как основано на неверном представлении о «слитной наследственности».

Уже на заре развития генетики выяснилось, что наследственность имеет дискретную природу; разные признаки контролируются отдельными материальными единицами наследственности — *генами*. Вот почему новые признаки не могут быть поглощены скрещиванием, их возникновение обусловлено изменениями отдельных генов, которые хотя и взаимодействуют друг с другом, но не «сливаются» и не «разбавляют» друг друга. Всякое наследственное изменение (*мутация*), раз появившись и выдержав «проверку на жизнеспособность», сохраняется и распространяется среди особей данного вида в следующих поколениях.

Установление дискретной природы наследственности и выявление мутационной изменчивости представляли собой два основных открытия генетики. Однако многие основоположники генетики (Г. де Фриз, У. Бэтсон, В. Иогансен) не сумели правильно оценить важнейшее значение своих открытий для дальнейшего развития эволюционной теории. Напротив, ранее генетики противопоставляли данные своих исследований дарвинизму. Наследственная

изменчивость рассматривалась ими в качестве главного и непосредственного фактора эволюции, а естественному отбору отводилась второстепенная роль браковщика неудачных мутантных и гибридных форм. Русский ботаник С. И. Коржинский (1899) и голландский генетик Г. де Фриз (1903) придавали особое значение роли скачкообразных мутаций в эволюции. Дж. Лотси (1915) абсолютизировал роль комбинативной изменчивости, полагая, что видообразование есть всего лишь процесс перекомбинирования генов при скрещиваниях, а не изменения путем мутаций, а уж тем более не результат постепенного накопления мелких мутаций отбором.

Итак, уже в начальный период своего становления генетика была использована для создания новых концепций эволюции. Сам по себе этот факт был знаменателен: он свидетельствовал о тесной связи генетики с эволюционной теорией. Но время их объединения было еще впереди.

Синтез генетики и дарвинизма. Генетика изучает один из факторов эволюции — наследственную изменчивость, поэтому противопоставление генетики дарвинизму было искусственным. Открытие мутаций свидетельствовало о наличии материала для естественного отбора, а выявление материальных единиц наследственности — генов — доказывало возможность закрепления результатов действия отбора, сохранение и накопление полезных в данной среде мелких наследственных изменений.

Один из первых значительных шагов по объединению данных генетики и дарвинизма сделал советский ученый. Выдающийся русский зоолог и сравнительный анатом Николай Константинович Кольцов (1872—1940) сразу понял роль и место генетики среди иных общебиологических дисциплин. Его ученик и соратник Сергей Сергеевич Четвериков (1880—1959) впервые подвел генетическую основу под эволюционное учение Дарвина. В знаменитой работе С. С. Четверикова «О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики» (1926) показано, что в естественных условиях в природе внутри каждого вида существует огромное количество наследственных изменений, которые фенотипически не проявляются в силу рецессивности. Вид насыщен мутациями, составляющими неисчерпаемый материал для эволюции.

Итогом работы С. С. Четверикова и его последователей — советских ученых Н. В. Тимофеева-Ресовского, Н. К. Беляева, Б. Л. Астаурова, Н. П. Дубинина, Д. Д. Ромашова и американских ученых С. Райта, Р. А. Фишера, Ф. Г. Добржанского и многих других — явилось возникновение новой отрасли — *популяционной генетики*.

Развитию популяционной генетики способствовал обмен многими идеями и методами между ведущими тогда генетическими школами — американской и советской. Многие работы советских генетиков печатались на европейских языках, советские ученые

выезжали за рубеж на длительные сроки, среди них прежде всего следует назвать Н. И. Вавилова, Н. В. Тимофеева-Ресовского, Г. К. Карпеченко, Н. К. Кольцова и др. В конце 20-х — начале 30-х годов в СССР по приглашению Н. И. Вавилова долгий период работали ученики Т. Моргана — Г. Г. Меллер, будущий дважды лауреат Нобелевской премии, избранный в те годы членом-корреспондентом АН СССР, К. Бриджес, а также крупнейший специалист по генетике хлопчатника С. Е. Харланд.

Синтез дарвинизма с другими науками. Оформление синтетической теории эволюции. Начавшееся в 20-х годах объединение дарвинизма и генетики способствовало расширению и углублению синтеза дарвинизма с другими науками. 30—40-е годы принято считать периодом становления *синтетической теории эволюции (СТЭ)*.

Важную роль в формировании СТЭ сыграла работа Ф. Г. Добржанского «Генетика и происхождение видов» (1937), подводившая итог синтезу генетики с дарвинизмом. Ф. Г. Добржанский до 1927 г. работал в СССР и был хорошо знаком с идеями советских генетиков-эволюционистов (С. С. Четверикова, Ю. А. Филипченко и др.). Он широко пропагандировал идеи советских ученых на Западе.

Значительный вклад в создание СТЭ внес советский ученый И. И. Шмальгаузен (1887—1963). На основе синтеза эволюционной теории, эмбриологии, морфологии, палеонтологии и генетики И. И. Шмальгаузен глубоко исследовал вопросы отношения онтогенеза и филогенеза, изучил основные направления эволюционного процесса, выделил две формы естественного отбора. Его работы «Пути и закономерности эволюционного процесса» (1939), «Факторы эволюции» (1946) и другие стали настольной книгой теоретиков-эволюционистов, генетиков, экологов и исследователей многих других специальностей.

Заключительный этап синтеза связан с опубликованием интернациональным коллективом сводки «Новая систематика» (1940), с выходом книг Э. Майра «Систематика и происхождение видов» (1944) и Дж. Хаксли «Эволюция: современный синтез» (1942). Названию книги Дж. Хаксли и обязан своим появлением термин «синтетическая теория эволюции». С этого времени (1940—1942) начался период триумфального распространения СТЭ и ее использование в практике систематики, генетики, селекции, экологии, морфологии других наук, продолжающийся до настоящего времени.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Какое значение для развития и становления эволюционной теории имело открытие гена и его способности изменяться (мутировать)?

2. Почему противопоставление генетики дарвинизму было искусственным?
3. Почему современную эволюционную теорию называют синтетической?
4. Какое значение имели работы отечественных ученых для развития и становления СТЭ?

ВВЕДЕНИЕ В ПОПУЛЯЦИОННУЮ ГЕНЕТИКУ

На стыке классического дарвинизма и генетики родилось целое направление — *популяционная генетика*.

Популяционные генетики первыми поняли значение сравнительно мелких объединений особей, на которые распадается население любого вида *популяций*.

В 1921—1922 гг. С. С. Четвериков, в ту пору сотрудник Н. К. Кольцова, начал изучать распространение мутаций не в лабораторных, как то делалось ранее школой Т. Моргана, а в природных популяциях дрозофил (рис. 20). Он организовал на Звенигородской биостанции в Москве в Институте экспериментальной биологии (ныне Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР) широкие исследования по поиску мутаций в природных популяциях и знаменитый семинар «Дроз-

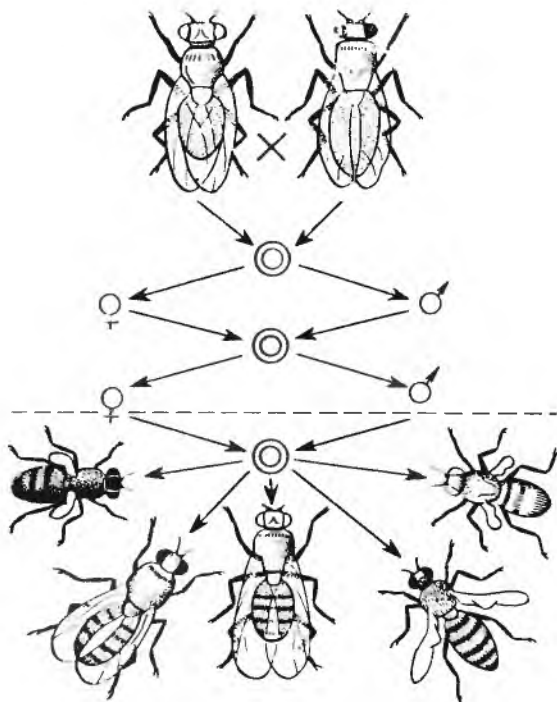


Рис. 20. Опыты С. С. Четверикова.

При скрещивании между собой особей из потомства одной самки дрозофилы в течение ряда поколений обнаруживается множество скрытых рецессивных мутаций. «Вид, как губка» насыщен мутациями, составляющими неисчерпаемый материал для естественного отбора. (Опыты С. С. Четверикова заложили основы генетики популяций и учения о микроэволюции.)

соор»¹, на основе которых и зародилась отечественная, а вслед за ней и мировая *популяционная генетика*.

Ведущую роль в популяционной генетике играет учение о микроэволюции. Перспективы развития СТЭ связаны с развитием этого учения.

Популяция и генофонд. Здесь речь пойдет о популяциях организмов, размножающихся половым путем. В таких популяциях осуществляется та или иная степень *панмиксии* — случайного свободного скрещивания. Другими словами, каждая особь имеет одинаковые шансы на спаривание с любой особью противоположного пола. Панмиксия внутри популяции обязательно должна быть выше, чем между соседними популяциями этого вида. Поэтому особи одной популяции тесно связаны родственными и брачными узами. Для эволюции важно, что внутри популяции идет обмен генетической информацией: потомки получают половину хромосом от одного родителя, а половину — от другого. На протяжении ряда поколений группа особей оказывается единой большой системой с определенным комплексом генов — *генофондом* (от греч. *генос* — *рождение* и лат. *фонд* — *основание, запись*).

Частоты генов и генотипов. Генофонд популяции может быть описан либо *частотами генов*, либо *частотами генотипов*. Представим себе, что в популяции имеется N диплоидных особей, различающихся по одной паре аллелей (A и a); D — означает число гомозигот по доминантному аллелю (AA); P — число гомозигот по рецессивному аллелю (aa); H — число гетерозигот (Aa). Таким образом, в популяции будут существовать три типа особей, имеющих соответственно генотипы AA , Aa , aa . Поскольку каждая особь с генотипом AA имеет два аллеля A , а каждый индивидум Aa — по одному аллелю A , общее число аллелей A составит $2D + H$. Тогда p — частота встречаемости доминантного аллеля A равна:

$$p = \frac{2D + H}{N} = \frac{D + 0,5H}{N}$$

Частоту рецессивного аллеля (a) принято обозначать q . Сумма частот генов A и a равняется единице: $p + q = 1$, отсюда $q = 1 - p$. Если ген представлен только двумя аллелями (A и a) с частотой p и q , то каковы будут частоты трех возможных генотипов?

Закон Харди — Вайнберга. На поставленный вопрос ответ дает *закон Харди — Вайнберга*. На первый взгляд может показаться, что особи с доминантным фенотипом будут встречаться чаще, чем с рецессивным. Однако отношение 3 : 1 соблюдается лишь в потомстве двух гетерозиготных по одним и тем же аллелям особей. Законы Менделя ничего не говорят нам о частотах генотипов и фенотипов в популяциях. О них идет речь в названном

¹ Шутливое название этого серьезного семинара расшифровывалось как «совместное оранье по поводу дрозофилы».

законе. Его сформулировали независимо друг от друга математик Дж. Харди в Англии и врач Вильгельм Вайнберг в Германии. Чтобы понять смысл этого закона, предположим, что самцы и самки в популяции скрещиваются случайно, или, что одно и то же, гаметы самцов и самок будут комбинироваться случайно, образуя зиготы. В зиготе объединяются материнские и отцовские хромосомы, каждая из гомологичных хромосом несет по одному аллелю из данной пары. Образование особей с генотипом AA обусловлено вероятностью получения аллеля A от матери и аллеля A от отца, т. е. $p \times p = p^2$.

Частоты гамет у самцов	Частоты гамет у самок	
	$p (A)$	$q (a)$
$p (A)$	$p^2 (AA)$	$pq (Aa)$
$q (a)$	$pq (Aa)$	$q^2 (aa)$

Аналогично возникновение генотипа aa , частота встречаемости которого равна q^2 . Генотип Aa может возникнуть двумя путями: организм получает аллель A от матери, аллель a — от отца или, наоборот, аллель A — от отца, аллель a — от матери. Вероятность того и другого события равна pq , а суммарная вероятность возникновения генотипа Aa равна $2pq$. Таким образом, частоту трех возможных генотипов можно выразить уравнением:

$$(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

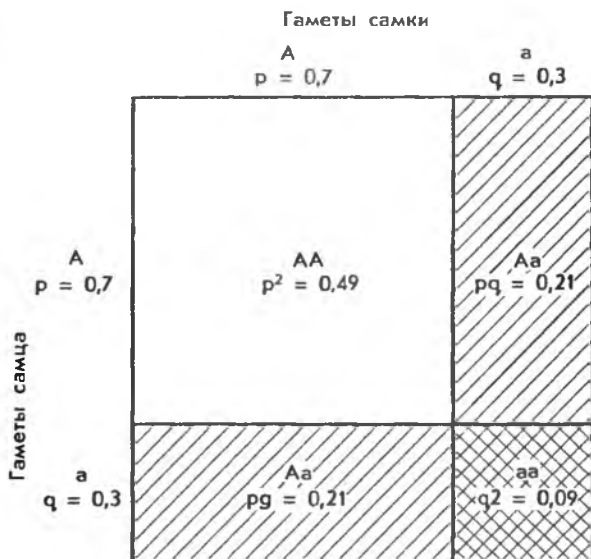
$$A \quad a \quad AA \quad Aa \quad aa$$

Из уравнения следует, что если скрещивание случайно, то частоты генотипов связаны с частотами аллелей простыми соотношениями по формуле бинома Ньютона.

Разберем пример, когда частоты аллелей данного гена в популяции будут $0,7A$; $0,3a$ (геометрическое выражение закона Харди — Вайнберга для этого случая представлено на рис. 21). В потомстве на 100 зигот будет 49 гомозигот AA , 9 гомозигот aa и 42 гетерозиготы Aa , т. е. это соответствует уже известному нам соотношению генотипов — $p^2 (AA) : 2pq (Aa) : q^2 (aa)$.

Гаметы самца	Гаметы самки	
A $p=0,7$	AA $p^2=0,49$	Aa $pq=0,21$
a $q=0,3$	Aa $pq=0,21$	aa $q^2=0,09$

Рис. 21. Геометрическое представление взаимосвязи между частотами аллелей и частотами генотипов в соответствии с законом Харди — Вайнберга



Интересно, что в следующем поколении гаметы с аллелем *A* будут вновь возникать с частотой 0,7 (0,49 от гомозигот *AA* + 0,21 от гетерозигот *Aa*). Данное соотношение сохранится и в будущем. Частоты генов, а соответственно и генотипов остаются неизменными из поколения в поколение — это одно из основных положений закона Харди — Вайнберга. Однако названный закон носит вероятностный характер и поэтому реализуется в бесконечно большой популяции. При этом частоты генов остаются неизменными, если:

- существует неограниченная панмиксия;
- отсутствует естественный отбор;
- не возникают новые мутации;
- не происходит миграция особей с иными генотипами из соседних популяций.

Однако эти процессы постоянно происходят в природе и обуславливают микроэволюцию, сущность которой противоречит основному положению закона Харди — Вайнберга и в генетическом смысле сводится к изменению частот аллелей в популяции. С помощью закона Харди — Вайнберга, зная частоту встречаемости гомозиготных носителей рецессивного признака (q^2) в популяции, можно рассчитать частоту гетерозигот ($2pq$) и частоту гомозигот по доминантному аллелю (p^2).

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Сравните процессы микро- и макроэволюций.
2. Что понимается под генофондом популяции? Как он может быть описан?

3. В чем сущность закона Харди — Вайнберга? Действует ли он в природе?
4. Предположим, что в популяции жуков красные формы встречаются с частотой 15% (0,15), а черные с частотой 85% (0,85); черный цвет определяется доминантным аллелем, а красный — рецессивным. Определите частоты возможных генотипов и частоты аллелей.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЭВОЛЮЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛ, ЯВЛЕНИЕ, СТРУКТУРА

Гетерогенность популяции. Из закона Харди — Вайнберга вытекает интересное следствие: редкие аллели присутствуют в популяции главным образом в *гетерозиготном*, а не в *гомозиготном* состоянии. Например, альбинизм у человека обусловлен редким рецессивным аллелем *a*. Генотип альбиносов будет соответственно *aa*, генотип нормально пигментированных людей — *Aa*, *AA*. Предположим, что в популяции частота альбиносов составляет 1 на 10 000, т. е. 0,0001¹. Тогда частота рецессивного аллеля равна $q = \sqrt{0,0001} = 0,01$. Частота доминантного аллеля составит $p = 1 - 0,01 = 0,99$. Частота генотипов нормально пигментированных людей составит соответственно 0,98 (для генотипа *AA*, так как $p^2 = 0,99^2 = 0,98$) и 0,02 (для генотипа *Aa*, так как $2pq = 2 \times 0,99 \times 0,01 = 0,02$). Таким образом, частота альбиносов (рецессивных гомозигот *aa*) равна 0,0001, частота гетерозигот (*Aa*) — 0,02. Частота рецессивного аллеля (*a*) у гетерозигот составит половину частоты гетерозигот, т. е. 0,01. Следовательно, в гетерозиготном состоянии содержится примерно в 100 раз больше рецессивных аллелей, чем в гомозиготном, а частота носителей рецессивного аллеля альбинизма в гетерозиготном состоянии в 200 раз выше, чем частота встречаемости самих альбиносов.

Исходя из закона Харди — Вайнберга, С. С. Четвериков в классической работе «О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики» рассмотрел вопрос о судьбе единичных рецессивных мутаций, возникающих в природных популяциях. Суждено ли таким мутациям сохраниться или исчезнуть без следа, никак не влияя на судьбу вида?

С. С. Четвериков рассуждал следующим образом. Допустим, в популяции, состоящей из 1 000 000 особей, появилась одна рецессивная мутантная форма (*aa*). Если она не будет немедленно уничтожена естественным отбором в силу своей меньшей жизнеспособности, то скрестится с нормальной формой *AA*. В результате рецессивный ген перейдет из гомозиготного в гетерозиготное

¹ На самом деле частота встречаемости альбиносов в популяциях человека (q^2) составляет $\frac{1}{20\,000}$, т. е. 0,0002.

состояние — *Aa*. Если родители (*AA, aa*) оставят после себя одну пару особей, то это выразится в том, что в популяцию войдут две особи, внешне сходные с другими особями, но отличающиеся от них гетерозиготностью. Вероятность того, что эти две гетерозиготные особи встретятся и дадут потомство, равна $1 : 1\ 000\ 000$, т. е. ничтожна. Таким образом, данная рецессивная мутация не исчезнет, но растворится в массе нормальных особей. Она будет поглощена свободным скрещиванием, передаваться из поколения в поколение, оставаясь скрытой в недрах вида. Если в данной популяции возникнут другие, независимо идущие рецессивные мутации, то они тоже перейдут в гетерозиготное состояние и войдут в генофонд популяции, сохраняясь у определенного процента особей. Таким образом, популяция «как губка» впитывает рецессивные мутации, оставаясь при этом внешне однородной.

Мутации — элементарный эволюционный материал. Мутации генов и хромосом — единственный источник новых изменений. Они возникают медленно, но непрерывно и затрагивают любые, даже биологически важные признаки, такие, как способность к скрещиванию, плодовитость, общая жизнеспособность и др. Конечно, несколько появившихся мутаций еще не изменят популяцию. Но, возникая непрерывно, они будут накапливаться из поколения в поколение в гетерозиготном, скрытом виде, пока вероятность скрещивания гетерозиготных особей не будет достаточно большой. В результате такого скрещивания мутация попадет в гетерозиготное состояние и особи, несущие ее, будут отличаться от своих сородичей какими-то признаками, например окраской глаз, нечувствительностью к определенным химическим препаратам и т. д. Если эти признаки окажутся полезными в условиях существования популяции, они подхватятся естественным отбором и через 1—2 поколения число особей, обладающих ими, значительно возрастет. Выход какой-либо мутации на эволюционную арену — чрезвычайно важное событие в жизни популяции и вида в целом.

Изучение большого числа природных популяций подтвердило вывод С. С. Четверикова о их насыщенности разнообразными мутациями. В разных популяциях частоты мутантных генов различны. Практически нет двух популяций, в которых мутации возникали бы с одинаковой частотой и затрагивали бы одни и те же признаки.

Все это, вместе взятое, дает основание полагать, что именно мутации являются элементарным эволюционным материалом, с которым «работает» естественный отбор.

Популяция — элементарная эволюционная единица. Популяция — самая мелкая из групп особей, способная к эволюционному развитию, поэтому ее и называют *элементарной эволюционной единицей*. Отдельно взятый организм не является элементарной эволюционной единицей. Причина состоит в том, что его генотип остается неизменным на протяжении всей жизни. Популяция

благодаря большой численности особей представляет собой непрерывный поток поколений.

Вид как целостная замкнутая система может существовать на протяжении неограниченного времени, и его можно было бы принять за эволюционную единицу. Однако вид распадается на составляющие его части — популяции. Вот почему роль элементарной эволюционной единицы приходится все-таки признать не за видом, а за популяцией.

Элементарное эволюционное явление. Генофонд популяции, даже если она фенотипически однородна, — это гетерогенная смесь различных генотипов. Любые изменения генофонда касаются частот встречаемости разных аллелей, а значит, и генотипов. Снижение или повышение частоты встречаемости отдельных генотипов может быть вызвано гибелью особей в результате естественного колебания численности популяции, миграцией особей из одной популяции в другую, возникновением новых мутаций, их комбинацией при скрещивании. В силу действия названных процессов в популяции непрерывно одни генотипы возникают, другие исчезают, концентрация третьих меняется в ту или иную сторону. Генофонд популяции можно образно представить в виде «волнующейся поверхности моря, которая никогда не бывает безжизненно спокойной, даже в самый полный штиль»¹.

Однако в популяции может сложиться ситуация, когда она будет испытывать более сильное и длительное давление со стороны каких-либо внешних факторов (например, частота возникновения мутаций резко возрастает). Это может привести к существенному и необратимому изменению генофонда на длительный период времени, т. е. к *элементарному эволюционному явлению*.

Таким образом, элементарное эволюционное явление — длительное (сказывающееся на протяжении жизни многих поколений) и направленное изменение генофонда популяции, т. е. относительно стабильное изменение частоты аллеля. Элементарное эволюционное явление — еще не эволюция, но без генетических изменений в популяции невозможно ни начало, ни само протекание эволюционного процесса.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Какова судьба рецессивных мутаций в популяции?
2. Почему мутации считают элементарным эволюционным материалом?
3. Почему именно популяцию, а не вид или отдельную особь признают элементарной эволюционной единицей?
4. Что следует понимать под элементарным эволюционным явлением?

¹ Яблоков А. В. Актуальные проблемы биологической науки. — М.: Просвещение, 1984. — С. 18.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ФАКТОРЫ ЭВОЛЮЦИИ. МУТАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС

Условия действия закона Харди — Вайнберга в природе не соблюдаются. Под влиянием внешних факторов частота аллелей постоянно меняется, и без этого невозможно элементарное эволюционное явление. Какие факторы оказывают влияние на популяцию и в чем конкретно проявляется их действие?

Основные элементарные эволюционные факторы. Прежде всего для эволюции необходимо наличие факторов, поставляющих в популяции эволюционный материал. Эту роль выполняют *мутационный процесс, комбинативная изменчивость, поток генов, периодические случайные колебания численности популяций*. Имея различную природу, они действуют случайно и ненаправленно, поставляя на эволюционную арену разнообразные генотипы.

Важное значение для эволюции имеют факторы, обеспечивающие возникновение барьеров, препятствующих скрещиванию, — это различные формы изоляции, нарушающие панмиксию и закрепляющие любые различия в наборах генотипов в разных частях популяции.

Наконец, необходимо наличие естественного отбора — фактора, направляющего эволюционный процесс.

Все эти факторы оказывают *давление на популяцию*, приводят к возникновению элементарного эволюционного явления.

Давление мутационного процесса. Мы знаем, что мутации являются элементарным эволюционным материалом. Теперь речь пойдет о процессе их возникновения, постоянно действующем элементарном эволюционном факторе, оказывающем давление на генофонд популяции.

Частоты возникновения отдельных новых мутаций обычно относительно низки: одна мутация на 10 000—1 000 000 особей (гамет) в поколении. Но в связи с большим числом генов (их десятки тысяч у высших форм) общая частота всех возникающих мутаций у живых организмов достаточно высока: от нескольких единиц до нескольких десятков процентов. У дрозофилы до 25% гамет на одно поколение несут мутации. Следовательно, *мутационный процесс* оказывает ощутимое давление на генофонд популяции.

Комбинативная изменчивость. Давление мутационного процесса усиливается благодаря *комбинативной изменчивости*. Возникнув, отдельные мутации оказываются в соседстве с другими мутациями, входят в состав новых генотипов, т. е. возникает множество сочетаний аллелей. Расчеты показывают, что любая особь генетически уникальна. Так, если допустить, что в каждой паре гомологичных хромосом имеется только одна пара аллельных генов, то для человека, у которого гаплоидный набор хромосом равен 23, число возможных генотипов составит 3^{23} . Такое

огромное количество генотипов в 20 раз превышает численность всех людей на Земле. Однако в действительности гомологичные хромосомы отличаются по нескольким генам и в расчете не учтено явление перекреста. Поэтому количество возможных генотипов выражается астрономическим числом и можно с уверенностью утверждать, что возникновение двух одинаковых людей практически невероятно. Таким образом, обмен генами вследствие перекреста хромосом в первом делении мейоза и случайность слияния гамет в половом процессе — два фактора, обеспечивающих существование комбинативной изменчивости.

Генный поток. Важным источником изменчивости служит *генный поток* — обмен генами между популяциями одного вида в результате свободного скрещивания их особей. Часть особей-мигрантов одной популяции проникает в другую, и их гены включаются в генофонд этой популяции. При скрещивании особей разных популяций генотипы потомства будут отличаться от генотипов обоих родителей. В данном случае происходит перекombинация генов на межпопуляционном уровне.

Мутации и их комбинации в эволюции. Значительная часть вновь возникающих мутаций снижает жизнеспособность особей по сравнению с исходной нормой. Большинство отклонений от нормы должны оказаться «вредными» уже потому, что случайное изменение сложного механизма в подавляющем большинстве случаев не может его улучшить. Однако при переходе в гетерозиготное состояние многие мутации не только не снижают жизнеспособность несущих их особей, но и в некоторых случаях даже повышают ее. Эта особенность мутаций хорошо известна в практике животноводства и растениеводства: часто две мутантные формы, мало жизнеспособные порознь, объединенные в потомстве, обладают ценными хозяйственными свойствами.

Как показали опыты Н. В. Тимофеева-Ресовского, жизнеспособность одних и тех же мутаций зависит от того, в комбинации с какими аллелями других генов они оказываются. В зависимости от генного окружения («генотипической среды») жизнеспособность одной и той же мутации может изменяться.

Небольшой процент мутаций с самого начала может принести в конкретных условиях не вред, а пользу для особи. Как бы ни была мала доля таких мутаций, они, в грандиозных временных масштабах процесса эволюции, сами по себе могут сыграть заметную положительную роль.

Ненаправленность мутационного процесса. Мутационный процесс носит случайный и ненаправленный характер. Возникая, разнообразные мутации изменяют исходные признаки в различных направлениях, осуществляя в классической форме дарвиновскую *неопределенную изменчивость*.

Ненаправленность мутационного процесса отчетливо проявляется при искусственном мутагенезе, когда внешние воздействия, вызвавшие мутацию, точно известны. Так, хорошо известно мута-

генное действие проникающей радиации. Возникающие под ее влиянием мутации могут затрагивать самые различные особенности организма (цвет глаз, степень развития и особенности строения крыльев у мух), вызывать самые разные наследственные заболевания у человека и других организмов. Но эти изменения в подавляющем большинстве никак не связаны с защитой организма от радиации, т. е. не имеют приспособительного значения.

Таким образом, *мутационный процесс* лишь поставляет материал для новых и новых эволюционных изменений, т. е. играет важнейшую роль *«поставщика» элементарного эволюционного материала*. Сам по себе, без участия других факторов эволюции, в первую очередь естественного отбора, мутационный процесс не может привести к направленному изменению генофонда популяции.

Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости.

Одни и те же мутации в популяциях данного вида появляются с определенной частотой. Это свидетельствует о том, что всякий генотип имеет хотя и большие, но вполне конкретные возможности мутационных изменений — *спектр изменчивости*. К изменениям, выходящим за пределы спектра изменчивости, никакой мутационный процесс привести не может. Как хорошо было бы млекопитающим иметь летом зеленую окраску! Увы, мутации могут изменить цвет волос от черного к бурому, рыжему, желтому, белому, может возникнуть пегость, полосатость, пятнистость, но в цепи биохимических реакций, ведущих к образованию пигмента волос млекопитающих, нет путей, ведущих к возможности возникновения зеленого пигмента. Другими словами, изменчивость не безгранична. Эта идея лежит в основе *закона гомологических рядов в наследственной изменчивости*, сформулированного великим соотечественником Николаем Ивановичем Вавиловым (1887—1943) в 1920 г. Согласно этому закону, генетически близкие виды характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что, зная ряд мутаций в пределах одного вида, можно предвидеть нахождение параллельных мутаций у других близкородственных видов (табл. 5). Так, например, пшеницы распадаются на ряд видов (твердая, мягкая, карликовая и др.). В каждом из этих видов встречаются озимые и яровые формы; красноколосные и белоколосные; остистые, полустистые и безостые; краснозерные и белозерные (рис. 22). Сходные формы наблюдаются и среди других родов злаковых — у овсов, ячменей, ржи.

Гомологичные мутации могут закрепиться у разных видов. Обнаружив у одного вида серию форм $A, B, C, D, E, F \dots Z$ и у близкого вида формы $A^1, B^1, F^1, W^1 \dots Z^1$, мы вправе предположить существование еще не открытых форм $C', D', E' \dots Y'$.

Закон гомологических рядов Н. И. Вавилова можно сравнить с периодическим законом Менделеева. Как периодический закон

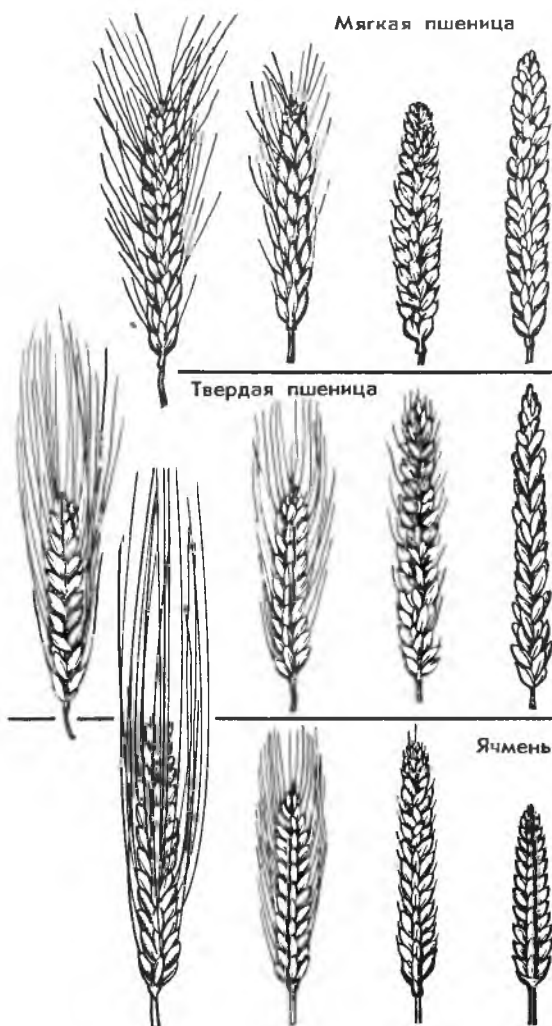


Рис. 22. Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости. У мягкой, твердой пшеницы и ячменя существуют остистые, короткоостные, вздутые и безостные колосья

Менделеева позволил открыть и предсказать свойства еще не известных элементов, так и закон гомологических рядов дал возможность предвидеть мутационные изменения, т. е. в какой-то степени предсказывать эволюцию.

Причина гомологических мутаций — общность происхождения генотипов, наличие сходных генов у родственных организмов.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Охарактеризуйте мутационный процесс как элементарный эволюционный фактор.

2. Каковы причины и следствия комбинативной изменчивости?
3. Какое значение для эволюции имеет комбинативная изменчивость и генный поток?
4. Генетиками изучено более 2 млрд. дрозофил и никогда среди них не наблюдалось мух с синими или зелеными глазами. Какова вероятность обнаружения указанных мутаций в будущем?
5. Как объяснить тот факт, что альбинизм встречается во всех человеческих расах и широко распространен среди млекопитающих? Известны случаи появления белых горилл, тигров и других млекопитающих.

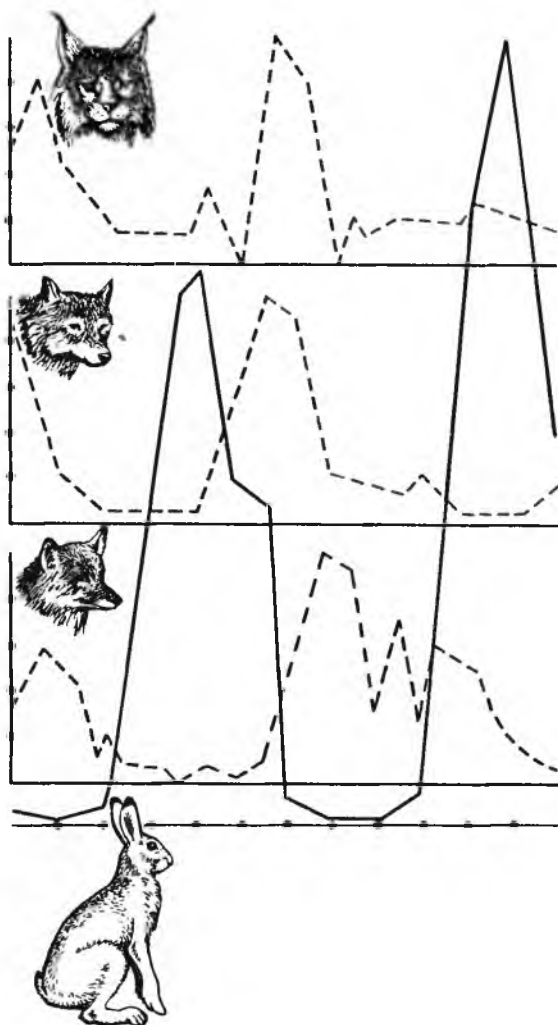
ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ВОЛНЫ. ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ДРЕЙФ

Расцвет и падение популяции. Нашествия полевок, мышей, саранчи известны человечеству с библейских времен. Еще Аристотель оставил описание «расцвета и падения» мышиной популяции. Он отмечал, что нашествие грызунов было бедствием, сравнимым с чумой. Они чудовищно размножились, уничтожили урожай и свою собственную «пищевую базу» и в конце концов исчезли, как сквозь землю провалились. В Древней Руси годы массового размножения грызунов называли годами «мышиной напасти», о них даже упоминается в летописях. В наши дни такого масштаба мышиной напасти уже не бывает, потому что численность грызунов люди научились регулировать. Однако *колебания численности*, особенно хорошо заметные у мышевидных грызунов и других видов с коротким жизненным циклом и быстрой сменой поколений, характерны для всех популяций растений и животных (рис. 23).

В 1905 г. С. С. Четвериков опубликовал работу под заглавием «Волны жизни», в которой раскрыл значение колебаний численности популяций — *популяционных волн*, или «волн жизни», для эволюции.

Причины колебания численности популяций. У быстроразмножающихся видов наблюдается периодическое чередование подъемов и спадов численности — *популяционные циклы*. Так, циклы полевок, леммингов и других мышевидных грызунов длятся обычно 4 года. За этот срок количество животных возрастает от ничтожного до максимального, затем падает почти до нуля и начинается новый цикл. Каковы причины такой периодичности? Трудно дать исчерпывающее объяснение. По-видимому, немалую роль в этом процессе играют хищники, численность которых колеблется пропорционально росту и убыли популяции грызунов. Например, чем больше полевок, тем больше птенцов выводят совы. Когда популяция мышей идет на убыль, совы снимаются с гнезд и улетают в поисках пищи в другие места. На старом месте остается ровно столько птиц, сколько может прокормиться. Пустельги, луны, канюки и другие постоянно обитающие в одном месте птицы в период расцвета мышиной популяции вы-

Рис. 23. Динамика численности зайцев (показана жирной линией) и хищников в центральных районах европейской части СССР



кармливают всех вылупившихся птенцов, а в голодный год много птенцов гибнет. Однако хищничество — только одна из многих причин колебания численности. Хищник съедает не более того, что ему необходимо, и бессилен справиться с полчищами животных в период их массового размножения. Резкие колебания численности грызунов могут быть связаны и со вспышками эпидемий.

Причины популяционных волн в одних случаях менее известны, в других — более изучены и объяснимы. Так, хорошо известно, что урожай еловых шишек повышается после теплого сухого лета, а это, в свою очередь, положительно сказывается на росте популяции белок.

Резкие непериодические падения численности возникают в результате засухи, пожара, наводнения и других природных «катастроф». При этом всегда неизбежно создаются исключительно благоприятные условия для развития одних организмов, неблагоприятные — для других. Например, на месте лесных пожаров буйно разрастается иван-чай. Его численность увеличивается на протяжении нескольких лет, затем это растение постепенно вытесняется другими травами, кустарниками, деревьями.

Резкие всплески численности видов наблюдаются при их попадании в новые подходящие для жизни условия. Достаточно вспомнить последствия расселения ондатры в Европе и в СССР, завоевание кроликами Австралии. Однако через несколько поколений новый для данного биогеоценоза вид становится жертвой новых для него хищников, новых болезней, к которым не выработан иммунитет. В результате вслед за небывалым подъемом численности неизбежно наступает период глубокого ее падения. Так было в СССР с ондатрой в 50—60-х годах, так было в 1987—1988 гг. на озере Севан с акклиматизированным здесь сигом.

Каким бы ни был механизм популяционных волн, ясно, что на численность популяции могут влиять одновременно многие факторы, которые неизбежно приводят к периодическим или непериодическим, сезонным или годовым изменениям численности любого из известных видов животных и растений.

Значение «волн жизни» для эволюции. С возрастанием численности популяции увеличивается вероятность появления новых мутаций и их комбинаций. Если в среднем один мутант появляется на 100 тыс. особей, то при возрастании численности популяции в 100 раз число мутантов увеличивается во столько же раз. После спада численности сохранившаяся часть особей популяции по генетическому составу будет значительно отличаться от ранее многочисленной популяции: часть мутаций совершенно случайно исчезнет вместе с гибелью несущих их особей, а некоторые мутации, также случайно, резко повысят свою концентрацию. Естественно, что после восстановления численности до нормального уровня генофонд популяции будет уже иной.

Таким образом, популяционные волны сами по себе не вызывают наследственную изменчивость, а только способствуют изменению частот аллелей и генотипов. Действуя совершенно иначе, чем мутационный процесс, «волны жизни» являются вместе с ним фактором-поставщиком эволюционного материала, выводящим ряд генотипов совершенно случайно и ненаправленно на эволюционную арену.

Генетический дрейф. Возрастание численности вида, как правило, сопровождается расширением его ареала. Попадая за пределы ареала, небольшие популяции могут закрепиться в новых местах обитания и тогда подвергнутся действию условий, совершенно отличающихся от таковых в пределах ареала вида. В таких периферических микропопуляциях влияние случайных факторов может

выйти на первый план и привести к резкому изменению генофонда.

Случайное ненаправленное изменение частот аллелей в малых популяциях Н. П. Дубинин и Д. Д. Ромашов (1931—1932) назвали *генетико-автоматическими процессами*. Независимо от них зарубежные ученые С. Райт и Р. Фишер назвали это явление *генетическим дрейфом*.

Генофонд малочисленной популяции с самого начала беднее генофонда родительского вида, и подбор аллелей в нем случаен (в результате случайного подбора особей). Поскольку естественный отбор происходит эффективно при достаточно большой численности особей, дальнейшая судьба генофонда малой популяции определяется главным образом действием различного рода случайных факторов. Это было доказано экспериментально. В пробирки с кормом посадили по две самки и два самца мух дрозофил, гетерозиготных по аллелю *A* (из генотипа *Aa*). В такой искусственно созданной популяции соотношение нормального и мутантного аллелей было одинаковым. Спустя несколько поколений оказалось, что частота мутантного аллеля меняется случайным образом. В некоторых популяциях он был утрачен, в других, наоборот, все особи стали гомозиготными по мутантному аллелю, часть популяций содержала нормальный и мутантный аллели.

Таким образом, несмотря на снижение жизнеспособности мутантных особей и, следовательно, вопреки естественному отбору в некоторых небольших популяциях мутантный аллель полностью вытеснил нормальный. Это и есть результат случайного процесса — дрейфа генов.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Каковы причины колебания численности популяций?
2. Численность популяции тигра на Дальнем Востоке составляет около сотни особей. Возможно ли эволюционно длительное существование такой популяции? Почему?
3. В чем заключается значение популяционных волн для эволюции?
4. Что понимается под генетическим дрейфом? К каким последствиям он приводит?

ИЗОЛЯЦИЯ

Под *изоляция*й понимается возникновение любых барьеров, нарушающих панмиксию. Изучив отличия животных на некоторых океанических островах, Ч. Дарвин придал изоляции большое значение в видообразовании. Но он рассматривал явления, связанные с изоляцией, в большом, макроэволюционном масштабе. Нас же изоляция интересует как *элементарный эволюционный фактор*, действующий вначале в пределах популяции, на микроэволюционном уровне.

В зависимости от природы изолирующих барьеров выделяют два основных типа изоляции: географическую и биологическую, или репродуктивную.

Географическая изоляция. Географическая изоляция связана с изменениями в ландшафте: образование преград в виде рек, горных хребтов, лесных массивов и т. д. В результате свободное скрещивание сухопутных особей затрудняется из-за водных барьеров, а особей, обитающих в воде, — из-за барьеров суши. Возвышенности изолируют равнинные популяции, а равнины — горные популяции.

Географическая изоляция может возникнуть и без заметных географических барьеров, просто в силу большого расстояния между популяциями одного вида. Часто причиной такой изоляции является деятельность человека в биосфере. Например, еще в начале нашего века ареал соболя был сплошным и занимал значительную часть Евразии, но уже в 20—30-х годах в связи с интенсивным перепромыслом этого зверька его ареал приобрел мозаичную структуру: распался на отдельные участки, разделенные значительным расстоянием, препятствовавшим свободному скрещиванию удаленных друг от друга популяций. В 40—50-е годы благодаря большой работе охотоведов по восстановлению численности соболя и расселению зверьков в местах их бывшего обитания ареал соболя в СССР был восстановлен.

Степень географической изоляции. Изоляция может быть абсолютной. Например, популяции песцов, обитающие на Командорских островах и на Камчатке, не обмениваются особями, так как разделены незамерзающим проливом. Однако изоляция зависит не только от пространственного расположения географических барьеров, но и от *радиуса индивидуальной активности* — расстояния, на которое способны перемещаться особи в период размножения. Если радиус индивидуальной активности невелик по сравнению с размерами популяции и расстоянием между соседними популяциями, то *степень, или давление, изоляции* будет большим. Например, популяции наземных моллюсков, удаленные друг от друга на 200—400 м, будут существовать изолированно, так как их индивидуальная подвижность ограничена. А песцы могут мигрировать по льдам Арктики на сотни километров, и в результате изоляция песцов острова Врангеля от популяций песцов Чукотки очень невелика. Если радиус индивидуальной активности позволяет особям соседних популяций преодолевать расстояние между ними (степень изоляции незначительная), то эти популяции очень скоро приобретут общие свойства из-за полного перемещения генетического материала. Так, утки одного вида занимают ареал, равный чуть не всей Европе, и свободно скрещиваются между собой. Предполагают, что все они относятся к одной популяции или очень немногим популяциям.

Биологическая, или репродуктивная, изоляция. Биологическая (репродуктивная) изоляция приводит к нарушению скрещивания

или препятствует воспроизведению нормального потомства. Различают несколько форм репродуктивной изоляции.

При *эколого-этологической изоляции* свободное скрещивание между организмами нарушается в результате снижения вероятности встреч партнеров из разных популяций в период размножения из-за различий в образе жизни и поведении. Примеров такого рода очень много. Например, у птиц одного вида могут возникать различия в сроках спаривания, ритуале ухаживания, брачных песнях и т. д. У растений одного вида многочисленны случаи несовпадения времени цветения и опыления. В озере Севан существовало несколько популяций форели, отличающихся размерами, темпами роста, сроками и местами нереста. Однако эта форма изоляции не всегда надежное препятствие к скрещиванию. Имеется немало случаев нарушения экологических и поведенческих изоляционных барьеров.

При *морфофизиологической изоляции* изменяется не вероятность встречи полов, а вероятность оплодотворения. Это может быть обусловлено различием в строении полового аппарата, нарушением процессов размножения.

Очень важная форма биологической изоляции — *генетическая изоляция*. К ней относятся все те случаи, когда в результате скрещивания форм с разными хромосомными наборами появляются гибриды с пониженной жизнеспособностью, плодовитостью или полной стерильностью.

Эволюционное значение изоляции. Различные формы изоляции, нарушая панмиксию и действуя длительное время, закрепляют различия в частотах встречаемости различных генотипов (тогда как свободное скрещивание ведет к сглаживанию различий). Однако, несмотря на длительность действия изоляции, ее давление на популяцию так же ненаправленно, как и давление факторов (мутационные процессы, «волны жизни») — поставщиков эволюционного материала.

Ненаправленность названных факторов эволюционного процесса — главная черта, отличающая их от естественного отбора — *направленного* элементарного эволюционного фактора. Факторы-поставщики эволюционного материала изменяют частоты аллелей, а изоляция усиливает их действие независимо от того, ведет это к повышению или к понижению приспособленности организмов к условиям существования.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Чем географическая изоляция отличается от биологической?
2. От чего зависит давление изоляции?
3. Каково значение изоляции в эволюции?
4. Как изоляция связана с другими элементарными эволюционными факторами?

ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР — НАПРАВЛЯЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ ФАКТОР ЭВОЛЮЦИИ

Естественный отбор с точки зрения генетики. Сущность естественного отбора заключается не столько в выживании наиболее приспособленных, сколько в гибели неприспособленных особей или уменьшении вклада последних в генофонд следующих поколений. Сам же факт выживания, вплоть до достижения старости без оставления потомства, не будет иметь последствий для эволюции. Поэтому естественный отбор определяют как процесс, направленный к повышению (или понижению) вероятности оставления потомства одними особями по сравнению с другими.

Отбор происходит внутри популяции, между популяциями и между видами. Нас интересует прежде всего *внутрипопуляционный отбор*, так как именно он является *элементарным эволюционным фактором*. В пределах популяции отбираются (преимущественно оставляют потомство) не отдельные признаки организма, а особи, обладающие ими. Следовательно, отдельные особи — это элементарный объект отбора.

Совокупность внешних признаков особи — ее фенотип представляет собой результат взаимодействия генотипа с условиями среды. Отбор всегда идет по фенотипам. Но в фенотипе особи отражаются особенности генотипа. Вот почему в ряду поколений отбор по фенотипам сводится к отбору генотипов с нормой реакции, соответствующей условиям данной среды. Таким образом, под естественным отбором следует понимать избирательное воспроизведение разных генотипов.

Количественная характеристика естественного отбора. В качестве количественной характеристики отбора обычно используется *относительная приспособленность*, называемая также *адаптивной или селективной ценностью генотипа*, под которой понимается способность генотипа к выживанию и размножению. Приспособленность обозначается буквой w и колеблется в пределах от 0 до 1. При $w=0$ передача наследственной информации следующему поколению отсутствует из-за гибели всех особей; при $w=1$ полностью реализуются потенциальные возможности к размножению. Величина, обратная приспособленности генотипа, называется *коэффициентом отбора* и обозначается буквой S : $S=1-w$, $w=1-S$. Коэффициент отбора определяет скорость уменьшения частоты того или иного генотипа. Чем больше коэффициент отбора и чем, следовательно, меньше приспособленность каких-либо генотипов, тем выше *давление отбора*.

Отбор и мутации. Особенно эффективно отбор идет против доминантных мутаций, поскольку они проявляются не только в гомозиготном, но и в гетерозиготном состоянии. При $S=1$ популяция за одно поколение избавляется от доминантных летальных мутаций. Например, доминантным аллелем обусловлено тяжелое заболевание у человека — ахондроплазия. Из-за нарушения роста

длинных костей для таких больных характерны короткие, часто искривленные конечности и деформированный череп. Гомозиготы по этому аллелю совершенно нежизнеспособны ($S=1$). У гетерозигот число детей впятеро меньше по сравнению со здоровыми людьми, т. е. $w=0,2$; $S=0,8$.

В качестве доминантных мутаций можно рассмотреть и некоторые хромосомные перестройки. Так, больные с синдромом Дауна, как правило, не оставляют потомства ($S=1$), и популяция избавляется от этого вредного гена за одно поколение. Но почему тогда заболевания, обусловленные доминантными мутациями, не исчезают бесследно? Это объясняется непрерывным действием мутационного процесса, поддерживающего присутствие вредных аллелей в популяции. Так, частота возникновения аллеля ахондроплазии равна 1 на 20 000 гамет, т. е. частота новорожденных детей с этой болезнью в потомстве здоровых родителей составит 1:10 000.

Многие рецессивные мутации обладают пониженной приспособленностью и будут устраняться отбором. Если рецессивные гомозиготы обладают нулевой приспособленностью, то популяция избавится от них также за одно поколение. Но отбор против рецессивных аллелей затруднен, потому что большая их часть находится в гетерозиготном состоянии (под прикрытием нормального фенотипа) и они как бы ускользают от действия отбора. Подсчитано, что если частота «вредного» рецессивного аллеля равна 0,01, то потребуется 100 поколений только для того, чтобы снизить частоту аллеля вдвое, и 9900 поколений, чтобы снизить ее до 0,0001. Особенно трудно избавиться от рецессивных мутаций большие популяции, так как в них вероятность перевода таких мутаций в гомозиготное состояние очень мала.

Отбор в пользу гетерозигот. Нередко наблюдается отбор в пользу гетерозигот, когда обе гомозиготы имеют пониженную приспособленность по сравнению с гетерозиготами. Хорошо известным примером такого отбора в популяциях человека является серповидноклеточная анемия — болезнь крови, широко распространенная в некоторых странах Азии и Африки. В результате наследственного дефекта в молекуле гемоглобина эритроциты принимают форму серпа и не способны выполнять свою функцию — переносить кислород. Люди, гомозиготные по рецессивному аллелю серповидноклеточности (ss), гибнут в возрасте 14—18 лет. Несмотря на это частота данного аллеля достигает в ряде районов земного шара от 8 до 20%. При этом высокая концентрация летального аллеля (s) наблюдается только в районах, где распространена особая форма малярии, вызывающая большую смертность населения. Случайно ли такое совпадение? Оказалось, что естественный отбор покровительствует особям гетерозиготным по гену серповидноклеточности (Ss). Гетерозиготы (Ss) более устойчивы к малярии по сравнению с гомозиготами (SS) по нормальному аллелю, у которых высокая смертность от малярии. Гомозиготы по рецессивному аллелю (ss) хотя и устойчивы к малярии, но гибнут

от серповидноклеточной анемии. Так сложное разнонаправленное действие отбора на устойчивость к малярии и на устранение аллеля серповидноклеточности приводит к существованию в состоянии длительного равновесия двух генетически различных форм — гомо- и гетерозигот по серповидноклеточной анемии. Это явление носит название *сбалансированного полиморфизма*.

Таким образом, взаимопроникновение эволюционной теории и популяционной генетики позволило более точно изучить действие естественного отбора в популяции и моделировать многие ситуации, имеющие место в процессе эволюции.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. В чем генетическая сущность естественного отбора?
2. Какими количественными характеристиками определяется давление отбора?
3. Против каких мутаций — доминантных или рецессивных отбор идет более эффективно? Почему?
4. Почему отбор идет чаще всего в пользу гетерозигот? К каким следствиям может привести такой отбор?

ФОРМЫ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТБОРА В ПОПУЛЯЦИЯХ

Интенсивность давления отбора — его количественная характеристика, направление естественного отбора определяет качественное его влияние на эволюцию. В зависимости от направления выделяют разные формы естественного отбора.

Генетической основой любой формы естественного отбора является наследственная изменчивость, а причиной — влияние условий среды. Мутанты, бывшие прежде менее приспособленными по сравнению с нормальным генотипом, при благоприятном для них изменении условий среды получают преимущество и постепенно вытесняют прежнюю норму. Результатом длительного действия отбора является преобразование популяционного генофонда, замена одних, количественно преобладающих, генотипов другими.

Движущая форма естественного отбора. Движущий отбор был описан еще Ч. Дарвином. Само название «движущий» говорит о том, что такой отбор выступает в качестве творческой силы эволюции. При движущей форме отбора происходит отсев мутаций с одним значением среднего признака, которые заменяются мутациями с другим средним значением признака. Эта форма отбора выявляется легче других. В итоге действия движущей формы отбора, например, возникает увеличение размеров потомков по сравнению с предками (в эволюционном ряду лошадиных от имевшего размеры с лисицу ископаемого фенакодуса до современных осла, зебры, лошади). Другие формы могут уменьшаться в размерах. Так, на острова Средиземного моря попали в конце третичного периода слоны. В условиях ограниченных ресурсов островных лесов

преимущество имели особи с небольшими размерами. Мутации карликовости подхватывались движущей формой отбора, а исходные аллели, определявшие нормальный для слонов размер, отсеивались вследствие гибели крупных особей. В результате на островах Средиземноморья возникли карликовые слоны ростом до полутора метров (они были истреблены первыми охотниками, заселившими эти острова). Ч. Дарвин объяснял происхождение многих бескрылых насекомых, живущих на океанических островах, действием движущего отбора.

Классическим примером действия движущего отбора в природе служит так называемый индустриальный меланизм. В районах, не подвергавшихся индустриализации, у бабочки березовой пяденицы белая окраска соответствует светлой березовой коре. Среди светлых бабочек на стволах берез встречались и темные, но они были хорошо заметны и склевывались птицами. Развитие промышленности привело к загрязнению воздуха, и белые березы покрылись слоем копоти. Теперь на темных стволах птицы гораздо легче замечали не темных, а типичных светлых бабочек. Постепенно в загрязненных районах частота встречаемости темных (мутантных) особей резко возросла и они стали преобладающими, хотя еще сравнительно недавно встречались исключительно редко (табл. 6).

Убедительный пример движущего отбора — выработка у микроорганизмов, насекомых, мышевидных грызунов устойчивости к антибиотикам и ядохимикатам. Многочисленными исследованиями установлено, что воздействие на микроорганизмы различными антибиотиками обуславливает за относительно короткий срок устойчивость к дозам, во много раз превышающим исходную. Это объясняется тем, что антибиотики выступают в качестве фактора отбора, способствующего выживанию устойчивых к нему мутантных форм. Благодаря быстрому размножению микроорганизмов мутантные особи увеличиваются в числе и образуют новые популяции, невосприимчивые к действию антибиотиков. Увеличение дозы или применение более сильных препаратов вновь создает условия для действия движущего отбора, в результате которого образуются все более и более устойчивые популяции микроорганизмов. Вот почему в медицине неуклонно идет поиск новых форм антибиотиков, к которым еще не приобрели устойчивость патогенные микробы.

В странах с передовой сельскохозяйственной культурой все чаще отказываются от химических средств защиты растений от вредителей (насекомых, грибов). Поскольку через ограниченное число поколений движущим отбором фиксируются у вредителей мутации устойчивости к химическим веществам. Вместо химической обработки признано целесообразным через 10—12 лет заменять старый сорт новым, которого еще «не нашли» вредители.

Стабилизирующий отбор. Известно, что реликтовое растение гинкго и потомок первоящеров гаттерия, а также кистеперая ры-

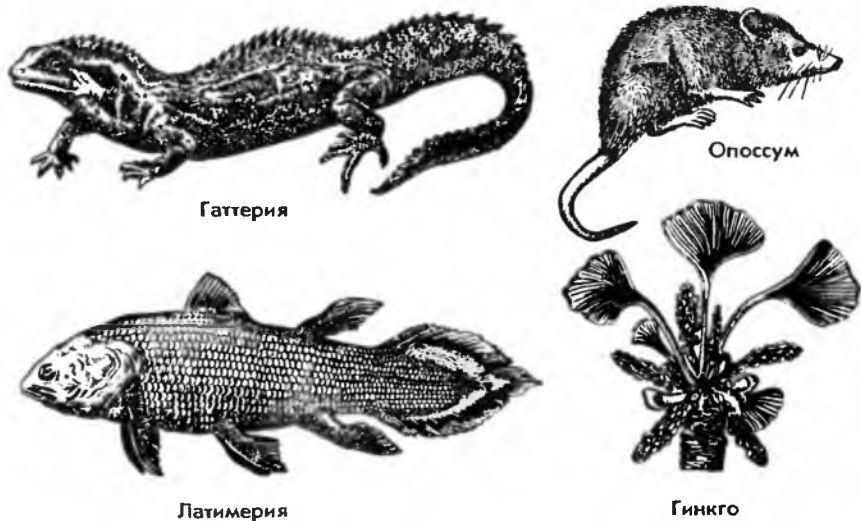


Рис. 24. Примеры реликтовых форм

ба — латимерия существуют почти без изменения миллионы лет (рис. 24). Как объяснить такую стабильность видов, если в природе постоянно совершается мутационный процесс? Ответ на этот вопрос дает учение о *стабилизирующем отборе*, разработанное крупнейшим эволюционистом И. И. Шмальгаузенем.

Стабилизирующий отбор наблюдается в том случае, если условия внешней среды длительное время остаются достаточно постоянными. В относительно неизменной среде преимуществом обладают типичные, хорошо приспособленные к ней особи со средним выражением признака, а отличающиеся от них мутанты погибают. Известно много примеров стабилизирующего отбора. Так, после снегопада и сильных ветров в Северной Америке было найдено 136 оглушенных, полуживых домовых воробьев, 72 из них выжили, а 64 погибли. Погибшие птицы имели или очень длинные, или очень короткие крылья. Особи со средними, «нормальными», крыльями оказались более выносливыми.

В результате действия стабилизирующей формы отбора мутации с широкой нормой реакции замещаются мутациями с тем же значением средней, но более узкой нормой реакции.

Стабилизирующий отбор ведет к большой фенотипической однородности популяции. Если он действует длительное время, то создается впечатление, что популяция или вид не изменяются. Однако эта неизменность кажущаяся и касается лишь внешнего облика популяции, генофонд же ее продолжает изменяться на основе появления мутаций с тем же значением средней, но с более узкой нормой реакции.

Стабилизирующая форма отбора характерна и для человека.

Известно, что нарушения по самым мелким 21—22-й парам хромосом ведут к тяжчайшему наследственному заболеванию — синдрому Дауна. Если возникнут отклонения в числе и форме более крупных хромосом, это приведет к гибели оплодотворенных яйцеклеток. Самопроизвольные (спонтанные) аборты часто вызваны гибелью эмбрионов с ненормальностями в хромосомах средних размеров.

Таким образом, стабилизирующая форма отбора в течение сотен тысяч и миллионов поколений оберегает виды от существенных изменений, от разрушающего влияния мутационного процесса, выбраковывая мутантные формы. Без стабилизирующего отбора не было бы устойчивости (стабильности) в живой природе.

Стабилизирующий и движущий отборы взаимосвязаны и представляют две стороны одного процесса. Популяции постоянно вынуждены приспосабливаться к изменениям условий среды. Движущий отбор будет сохранять генотипы, которые наиболее соответствуют изменениям среды. Когда условия среды стабилизируются, отбор приведет к созданию хорошо приспособленной к ней формы. С этого момента в действие вступает стабилизирующий отбор, который будет поддерживать типичные, преобладающие генотипы и устранять от размножения уклоняющиеся от средней нормы мутантные формы.

Дестабилизирующий отбор. Стабилизирующий отбор сужает норму реакции. Однако в природе нередки случаи, когда экологическая ниша вида со временем может оказаться более широкой. В этом случае селективное преимущество получают особи и популяции с более широкой нормой реакции, сохраняющие вместе с тем тоже среднее значение признака. В итоге идет процесс, обратный стабилизирующему отбору: преимущество получают мутации с более широкой нормой реакции. Так, популяции озерных лягушек, живущие в прудах с разнородной освещенностью, с чередованием участков, заросших ряской, тростником, рогозом, с «окнами» открытой воды, характеризуются широким диапазоном изменчивости окраски (итог дестабилизирующего отбора). Наоборот, в водоемах с однородной освещенностью и окраской (пруды, сплошь заросшие ряской, или открытые пруды) диапазон изменчивости окраски лягушек узок (итог действия стабилизирующего отбора). Таким образом, *дестабилизирующая форма отбора* ведет к расширению нормы реакции.

Разрывающий (дизруптивный) отбор. Для многих популяций характерен *полиморфизм* — существование двух или нескольких форм по тому или иному признаку. Полиморфизм нельзя объяснить только возникновением новых мутаций. Причины его могут быть разными. В частности, он может быть обусловлен повышенной относительной жизнеспособностью гетерозигот. В других случаях полиморфизм может быть результатом действия особой формы отбора, получившей название *разрывающего* или *дизруптивного*. Эта форма отбора осуществляется в тех случаях, когда две

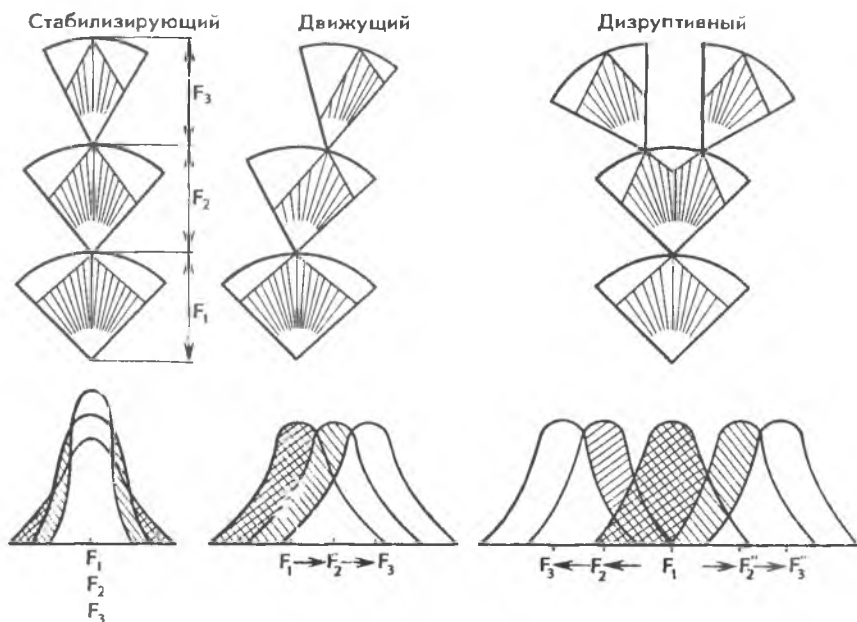


Рис. 25. Схема действия разных форм отбора

или более генетически различные формы обладают преимуществом в разных условиях, например в разные сезоны года. Хорошо изучен случай с преимущественным выживанием в зимний сезон «красных», а в летний «черных» форм двухточечной божьей коровки. Дизруптивный отбор благоприятствует более чем одному фенотипу и направлен против средних промежуточных форм. Он как бы разрывает популяцию по данному признаку на несколько групп, встречающихся на одной территории, и может при участии изоляции привести к разделению популяции на две и более (рис. 25).

Творческая роль естественного отбора. Критики дарвинизма приписывали отбору роль «сита» или «могильщика», устраняющего или сортирующего имеющиеся в популяциях изменения. Такой результат действия отбора в природе действительно существует, но отбор не только устраняет менее приспособленные к среде особи, но и определяет направление эволюции, последовательно накапливая многочисленные наследственные изменения. Как уже указывалось выше, мутационный процесс, волны численности и другие эволюционные факторы поставляют материал для эволюции. Один и тот же материал (наследственные изменения) в зависимости от направления отбора может привести к различным результатам. Действуя неограниченное время (миллионы и миллиарды лет), естественный отбор вместе с другими эволюционными факторами, дрейфом генов и изоляцией создал все огромное разнообразие

видов в живой природе, приспособленных к жизни в различных уголках нашей планеты.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Почему естественный отбор является направляющим фактором эволюции?
2. Происходит ли в настоящее время на зеленом лугу отбор среди зеленых кузнечиков по окраске тела? Какая это форма отбора?
3. Еще сравнительно недавно (40-е годы) применение небольших доз варфарина приводило через несколько дней к гибели всей обработанной популяции крыс. В настоящее время крысы пожирают варфарин без всякого вреда для себя. Как объяснить появление таких «суперкрыс»?
4. Как связаны между собой движущий, стабилизирующий и дестабилизирующий отборы?
5. В чем заключается творческая роль естественного отбора?

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ — РЕЗУЛЬТАТ ДЕЙСТВИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТБОРА

Соответствие строения органов выполняемым функциям (например, совершенство летательного аппарата птиц, летучих мышей, насекомых) всегда обращало на себя внимание человека и побуждало исследователей использовать принципы организации живых существ при создании многих машин и приборов. Не меньше поражают воображение гармоничные взаимоотношения растений и животных со средой обитания.

Факты, свидетельствующие о приспособленности живых существ к условиям жизни, столь многочисленны, что не представляется возможным дать сколько-нибудь полное их описание. Приведем лишь некоторые яркие примеры приспособительной окраски.

Примеры адаптаций. Для защиты яиц, личинок, птенцов особенно важна *покровительственная окраска*. У открыто гнездящихся птиц (глухарь, гага, гетерев) самка, сидящая на гнезде, почти не отличима от окружающего фона (рис. 26). Соответствует фону и пигментированная скорлупа яиц. Интересно, что у птиц, гнездящихся в дупле, самки нередко имеют яркую окраску (синицы, дятлы, попугаи).

Удивительное сходство с веточками наблюдается у палочников. Гусеницы некоторых бабочек напоминают сучки, а гело некоторых бабочек — лист (табл. 7). Здесь покровительственная окраска сочетается с покровительственной формой тела. Когда палочник замирает, то даже с близкого расстояния трудно обнаружить его присутствие — настолько сливается он с окружающей растительностью. Всякий раз, попадая в лес, на луга, в поле, мы даже не

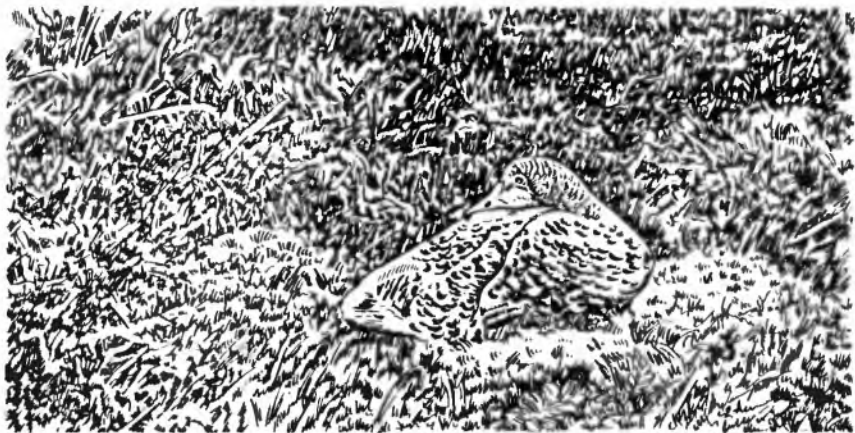


Рис. 26. Пестрая окраска гаги скрывает ее от врагов

замечаем, как много насекомых скрывается на коре, листьях, в траве.

У зебры и тигра темные и светлые полосы на теле совпадают с чередованием тени и света окружающей местности. В этом случае животные мало заметны даже на открытом пространстве с расстояния 50—70 м. Некоторые животные (камбала, хамелеон) способны даже к быстрому изменению покровительственной окраски благодаря перераспределению пигментов в хроматофорах кожи. Эффект покровительственной окраски повышается при ее сочетании с соответствующим поведением: в момент опасности многие насекомые, рыбы, птицы замирают, принимая позу покоя.

Очень яркая *предостерегающая окраска* (обычно белая, желтая, красная, черная) характерна для хорошо защищенных, ядовитых, жалящих форм. Несколько раз попытавшись отведать клопа-«солдатика», божью коровку, осу, птицы в конце концов отказываются от нападения на жертву с яркой окраской.

Интересные примеры адаптаций связаны с *мимикрией* (от греч. мимос — актер). Некоторые беззащитные и съедобные животные подражают видам, которые хорошо защищены от нападения хищников. Например, некоторые пауки напоминают муравьев, а осовидные мухи внешне сходны с осами (табл. 7).

Эти и многие другие примеры говорят о приспособительном характере эволюции. Каковы же причины возникновения различных приспособлений?

Происхождение приспособленности (адаптаций) у организмов. Впервые научное объяснение приспособленности дал Ч. Дарвин. Из самого дарвиновского учения о естественном отборе, как процессе выживания и размножения наиболее приспособленных, следует, что именно отбор — основная причина возникновения разнообразных приспособлений живых организмов к среде обитания.

Покажем это на примере формирования приспособлений у тетеревиных птиц к жизни в нижнем ярусе леса. Для этого вспомним некоторые особенности внешнего строения и образа жизни этих птиц: короткий клюв, позволяющий склёвывать ягоды и семена с лесной подстилки, а зимой с поверхности снега, роговые бахромки на пальцах, обеспечивающие хождение по снегу, способность спастись от холода, зарываясь на ночь в снег, короткие и широкие крылья, дающие возможность быстро и почти отвесно взлетать с земли.

Допустим, что у предков тетеревиных птиц описанные выше приспособления не были развиты. Однако при изменении среды обитания (в связи с похолоданием или в силу каких-то других обстоятельств) они были вынуждены зимовать в лесу, гнездиться и кормиться на лесной подстилке.

Непрерывный процесс возникновения новых мутаций, их комбинация при скрещивании, волны численности обеспечивали генетическую гетерогенность популяции. Поэтому птицы отличались друг от друга рядом наследственных признаков: отсутствием или наличием бахромок на пальцах, размерами крыльев, длиной клюва и т. п.

Внутривидовая борьба за существование способствовала выживанию особей, у которых признаки внешнего строения больше соответствовали условиям обитания. В процессе естественного отбора именно эти птицы оставляли плодовитое потомство и численность их в популяции возрастала.

Птицы нового поколения вновь несли разнообразные мутации. Среди мутаций могли быть и такие, которые усиливали проявление отобранных ранее признаков. Обладатели этих признаков вновь имели больше шансов выжить и оставить потомство. И так из поколения в поколение на основе усиления, накопления полезных наследственных изменений совершенствовались черты приспособленности тетеревиных птиц к жизни в нижнем ярусе леса.

Объяснение возникновения приспособленности, данное Ч. Дарвином, в корне отличается от понимания этого процесса Ж. Б. Ламарком, который выдвинул идею о врожденной способности организмов изменяться под влиянием среды только в полезную для них сторону. У всех известных ежей острые колючки надежно защищают их от большинства хищников. Трудно представить, что образование таких колючек вызвано прямым влиянием среды. Только действием естественного отбора можно объяснить возникновение такого приспособления: далеким предкам ежа могло бы помочь выжить даже незначительное огрубление волос. Постепенно, в течение миллионов поколений, оставались в живых только те особи, которые случайно оказывались обладателями все более и более развитых колючек. Именно им удалось оставить потомство и передать ему свои наследственные особенности. По этому же пути возникновения иголок вместо волос пошли мадагаскарские

«щетиновые ежи» — тенреки и некоторые колючешерстные виды мышей и хомяков.

Рассматривая другие примеры адаптаций в живой природе (появление колючек у растений, различных зацепок, крючков, летучек у семян растений в связи с распространением их животными и т. д.), мы можем предположить, что механизм их возникновения общий: во всех случаях приспособления возникают не сразу в готовом виде как нечто данное, а длительно формируются в процессе эволюции посредством отбора особей, имеющих признак в наиболее выраженной форме.

Относительность приспособленности. В дарвиновский период развития биологии приспособленность живых существ служила доказательством бытия божия: без всемогущего творца сама природа не смогла бы так разумно устроить живые существа и так мудро приспособить их к среде. Господствовало мнение, что каждое отдельное приспособление абсолютно, так как соответствует определенной цели, заложенной творцом: ротовые части бабочки вытянуты в хоботок, чтобы она смогла ими достать нектар, спрятанный в глубине венчика; толстый стебель кактусу необходим для запасаания воды и др.

Приспособленность организмов к среде выработана в процессе длительного исторического развития под действием естественных причин и не абсолютна, а относительна, так как условия среды обитания часто изменяются быстрее, чем формируются приспособления. Соответствуя конкретной среде обитания, приспособления теряют свое значение при ее изменении. Доказательством относительного характера приспособленности могут быть следующие факты:

- защитные приспособления от одних врагов оказываются неэффективными от других (например, ядовитых змей, опасных для многих животных, поедают мангусты, ежи, свиньи);

- проявление инстинктов у животных может оказаться нецелесообразным (ночные бабочки собирают нектар со светлых цветков, хорошо заметных ночью, но также летят и на огонь, хотя и гибнут при этом);

- полезный в одних условиях орган становится бесполезным и даже относительно вредным в другой среде (перепонки между пальцами у горных гусей, которые никогда не опускаются на воду);

- возможны и более совершенные приспособления к данной среде обитания. Некоторые виды животных и растений быстро размножились и широко распространялись в совершенно новых для них районах земного шара, куда были случайно или намеренно завезены человеком.

Таким образом, относительный характер приспособленности противоречит утверждению об абсолютной целесообразности в живой природе.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Приведите свои примеры приспособленности организмов к среде обитания.
2. Возникла дискуссия о результатах естественного отбора. Одни утверждают, что приспособленность в строении и поведении организмов любого вида уже дошла до предела, дальнейшего совершенствования современных видов не будет. Другие высказывают противоположное мнение: приспособления видов не всегда совершенны, а условия среды постоянно меняются, так что отбор всегда может продолжаться там, где есть жизнь. Каково ваше мнение? На основании каких фактов вы можете прекратить спор?
3. Как объяснить возникновение рудиментарных глаз у крога?
4. Как приспособлен дятел к жизни на деревьях? Объясните возникновение какого-либо приспособления, например долотообразного клюва.
5. В чем заключается относительная приспособленность у подорожника, крапивы, одуванчика?

ОБРАЗОВАНИЕ ВИДА — РЕЗУЛЬТАТ МИКРОЭВОЛЮЦИИ

Микроэволюционные процессы, протекающие в популяциях, не сводятся только к формированию приспособлений, они могут приводить к образованию новых видов.

Дарвин о видообразовании. Само название книги Ч. Дарвина «Происхождение видов путем естественного отбора» дает ответ на вопрос, как виды возникли в природе.

Схему видообразования Ч. Дарвин строил на основе выдвинутых им принципов монофилии и дивергенции. *Монофилия* — происхождение потомков от одного родоначального предка. *Дивергенция* — расчленение родоначальной формы на два и более дочерних, внучатых и других видов (рис. 27).

Наиболее острая конкуренция должна происходить между наиболее сходно устроенными особями данного вида (в силу сходства их жизненных потребностей). Вот почему в более благоприятных условиях окажутся уклонившиеся от среднего состояния дочерние формы. Они получают преимущественные шансы на выживание и оставление потомства. Наоборот, предковая и промежуточные формы, более сходные друг с другом, имеют мало шансов победить в борьбе за существование. В итоге от общего предка в ходе эволюции должны возникать все более разнообразные и отличающиеся друг от друга потомки.

Изоляция — ключевой фактор видообразования. У организмов, размножающихся половым путем, вид представляет собой сложную мозаику популяций. Пока особи разных популяций внутри вида хоть изредка могут скрещиваться в природе и давать плодотворное потомство, т. е. пока существует поток генетической инфор-

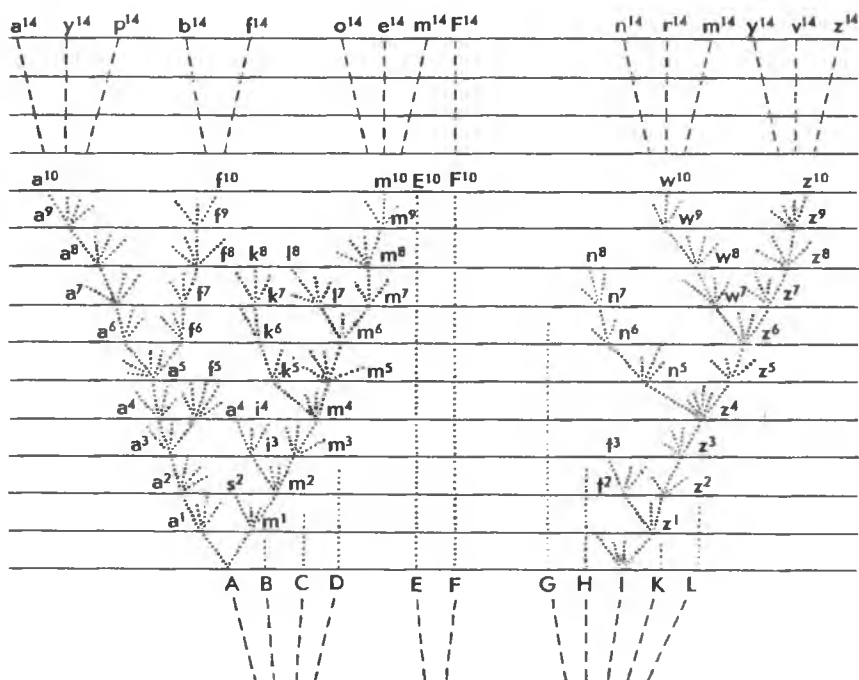


Рис. 27. Схема дивергенции форм (рисунок Ч. Дарвина).

Буквы А—L обозначают 11 видов различных родов. Горизонтальные линии (I—XIV) — интервалы, каждый из которых представляет 1000 поколений. Линии, обозначенные точками, — встречаемость во времени различных форм каждого вида. Строчными латинскими буквами обозначены «хорошо выделяющиеся» разновидности

мации между популяциями, вид остается целостной и единой системой. Однако в результате сильного давления изоляции поток генов может прерваться и изолированные популяции, накопив изменения под влиянием всегда действующих элементарных эволюционных факторов, могут перестать скрещиваться при последующих встречах. Возникновение репродуктивной изоляции между разными популяциями означает разделение одного вида на два. Иначе говоря, в этом случае отмечается процесс видообразования. Значит, вопрос о том, как образуются новые виды, тождествен вопросу, как между популяциями внутри вида возникает репродуктивная изоляция.

Наиболее изученный путь образования видов — это *постепенное видообразование*, осуществляющееся в процессе микроэволюции. Оно приводит к постепенной дивергенции популяций внутри вида до полного разобщения молодых дочерних видов, что согласуется с классической дарвиновской концепцией о происхождении видов.

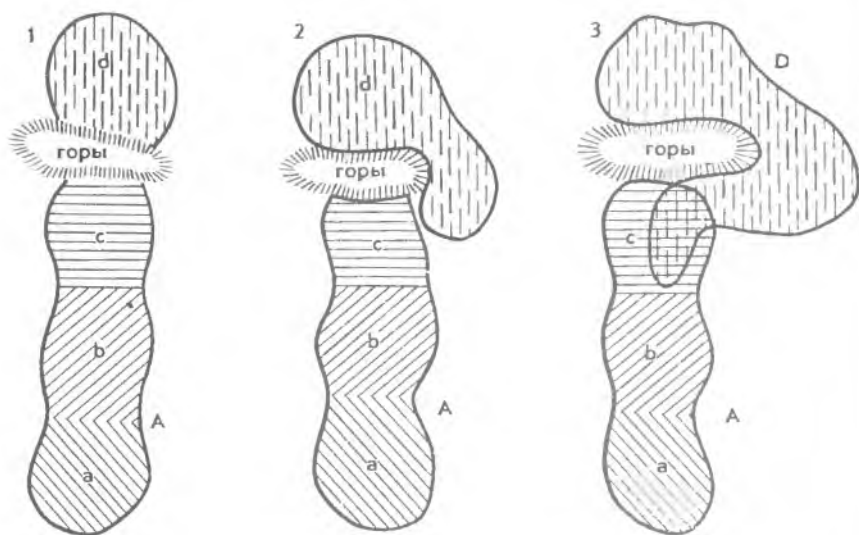


Рис. 28. Роль географической изоляции в видообразовании:

1, 2 — начальные этапы в видообразовании (вид А разделен на четыре популяции, одна из которых отделена горными хребтами от других популяций); 3 — обходя горный хребет с юга, популяция А вновь сблизилась с популяцией С, но так как они не скрещиваются, их считают отдельными видами А и D

Постепенное видообразование в зависимости от характера изоляции может быть географическим и экологическим.

Географическое видообразование. Самый распространенный и наиболее изученный — *географический способ видообразования*. Большой вклад в его изучение внес виднейший современный эволюционист Эрнст Майр.

Постепенное видообразование — процесс медленный, и поэтому его исследуют путем изучения естественных популяций на всех стадиях превращения в виды. Непременным условием этого способа видообразования является географическая изоляция. Географически изолированные популяции (изоляты) могут быть размещены по всему ареалу вида, где имеются преграды, но наибольшее значение для видообразования имеют изоляты, образующиеся по краям ареалов, на островах архипелагов, в горах, так как именно в этих условиях затрудняется поток генов и наблюдаются большие различия в условиях обитания (рис. 28).

Но даже если популяции не будут значительно удалены друг от друга, местообитание одной популяции будет отличаться от всех остальных по растительности, почвам, высоте местности над уровнем моря и по другим условиям. Эти отличия приведут к разным направлениям естественного отбора, что, в свою очередь, приведет к распространению и наследственному закреплению тех особеннос

тей, которые обеспечивают выживание именно в данных условиях. Живородящая ящерица живет от лесов Карелии на севере до Украины на юге. В южных популяциях ящерицы чаще откладывают яйца, а в условиях севера рожают живых детенышей. так как за холодное и короткое лето яйца не успевают развиваться.

Вернемся к географическим изолятам. Представим себе популяцию, которая на протяжении жизни большого числа поколений совершенно изолирована от других популяций того же вида. Из-за отсутствия генного потока генофонд такой популяции становится самостоятельным, частота встречаемости разных аллелей в нем подобрана естественным отбором применительно к условиям обитания. Постепенно в генофонде будет происходить накопление новых мутаций, и естественный отбор приведет в конце концов к возникновению стольких отличий между этой популяцией и другими популяциями того же вида, что возможность успешного скрещивания исчезнет — наступит *репродуктивная изоляция*.

Спецификой местных условий, соответствующим направлением отбора, длительной изоляцией объясняется существование эндемичных видов. Так, в озере Байкал живут многие виды моллюсков, ракообразных, рыб, червей, больше нигде не встречающихся, потому что уже около 20 млн. лет озеро изолировано от других водных бассейнов горными хребтами. Эндемичные виды многих островов Океании — тоже результат географического видообразования.

Острова — естественные лаборатории эволюции. Организмы попадают на острова различными способами. Ч. Дарвин во время экспедиции на «Бигле» брал в открытом океане пробы воздуха, в которых обнаружил споры, семена, насекомых, паутинки, переносимые ветром. Известно, что семена, споры растений, клещей, яйца насекомых и даже икринки рыб могут переносить на лапах и перьях птицы. Моряки не раз видели естественные плоты из переплетенных растений, которые были столь огромны, что их принимали за острова и наносили на карту. Эти естественные плоты могли нести небольших млекопитающих, рептилий, насекомых, пауков, многоножек, улиток и другие существа (рис. 29).

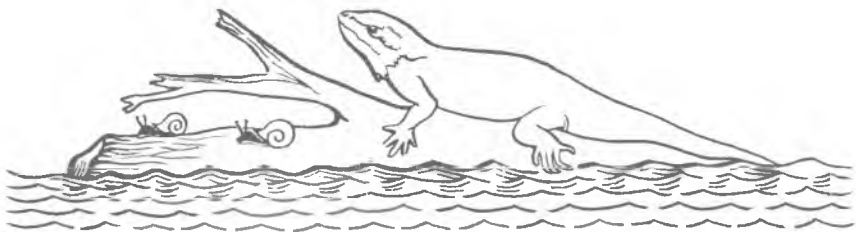


Рис. 29. Один из способов переселения

Плот — обычное средство, на котором животные достигают островов. Плывущее бревно или связка ветвей могут персвезти целую популяцию мелких животных: моллюсков, насекомых, рептилий. Ящерицы попали на тихоокеанские острова именно таким способом



Рис. 30. Гигантские моа, обитавшие в Новой Зеландии до появления там человека

вдвое выше человека и весили около 250 кг, а яйца — 7 кг! Эпиорнисы были не столь высоки, как гиганты моа, но почти вдвое тяжелее и откладывали яйца диаметром до 35 см, одно такое яйцо равно по объему 180 куриным яйцам. Интересно, что гигантизм этих нелетающих птиц, как удалось недавно выяснить при изучении отливок мозга, был обусловлен мутациями, приведшими к сверхразвитию гипофиза. Гигантизм распространялся не только на животных. Обычные и всем знакомые растения имеют на островах своих крупных представителей. Некоторые кустарники и травы не уступают деревьям, например подорожник на Канарских островах, плющ в Новой Зеландии. На острове Сокотра в Индийском океане растут деревья-эндемики с чудовищно развитыми стволами, в которых хранится вода, они родственны семейству дынь и огурцов.

В развитии некоторых животных, в основном млекопитающих, отразилась противоположная тенденция. Мы уже говорили о карликовых слонах островов Средиземноморья. Другой пример этому — пони (карликовая лошадь) на Шетландских островах. Уменьшив размеры, млекопитающие как бы расширили свой ареал.

Другая, бросающаяся в глаза, характерная черта островных животных — утрата способности к полету. Островная изоляция не поощадила даже птиц. Гигантские птицы, о которых уже шла речь, не имели крыльев, не способны летать маскаренские дронты, галапагосские бакланы, новозеландские киви. В Новой Зеландии водится также бескрылый попугай, гнездящийся в норах. По-ви-

Попад на острова, наземные растения и животные, часто не способные держаться на воде или плавать, оказались замкнутыми в своем островном мире. В каком направлении действует естественный отбор на островные виды? Здесь наблюдаются четыре главные тенденции: гигантизм, карликовость, бескрылость, внутривидовое разнообразие.

Многие островные животные, особенно птицы и пресмыкающиеся, достигают больших размеров (рис. 30). Самые большие птицы, которые когда-либо существовали на Земле, обитали на островах: моа в Новой Зеландии и эпиорнисы (слоновые птицы) на Мадагаскаре. Моа достигали трехметровой высоты, т. е. были почти

димому, крупным птицам в отсутствии хищников и при обилии пищи летные качества не были столь уж необходимы, и постепенно на основе накопления мутаций и естественного отбора они их лишились.

Обычны на океанических островах и бескрылые насекомые, так как крылатые чаще подхватывались ветром и гибли в океане.

У островных животных можно наблюдать также приспособительное разнообразие. Достаточно вспомнить галапагосских вьюрков и гавайских цветочниц, каждый вид которых приурочен к определенному острову и специализирован к способу питания, что исключает конкуренцию и виды существуют бок о бок.

Наконец, обитатели островов, как правило, очень доверчивы. Это объясняется тем, что в отсутствие естественных врагов-хищников животные утрачивают связанные с защитным страхом наследственные поведенческие навыки.

Долгое время географическая изоляция способствовала сохранению эндемичной флоры и фауны островов. Но безопасность жизни на островах закончилась в тот день, когда на горизонте появился первый корабль. Действительно, и те островные животные, которые в связи с отсутствием межвидовой борьбы достигли гигантских размеров, и те, которые перед фактом жесткой конкуренции пришли, чтобы выжить, к многообразию видов, — все они оказались безоружными перед пришествием человека. Под его ударами перечень островных видов быстро превратился в некрологический лист. Самые большие потери понесли бескрылые птицы: исчезли моа, эпиорнисы, дронты и др. Легко понять, что виды, не способные летать, — самая легкая добыча для человека и его спутников — собаки и кошки. Роковую роль сыграло внедрение на островах новых видов, случайно или намеренно завезенных человеком. Еще в XVII—XVIII вв. команды кораблей оставляли на островах коз и свиней, чтобы обеспечить себе пропитание на будущее. Эти брошенные животные истребляли туземную флору так интенсивно, что многие виды растений почти полностью исчезли, а с ними исчезли и животные: насекомые, птицы, рептилии, некоторые млекопитающие, которым растения служили кормом и кровом.

Ч. Дарвин и А. Уоллес поняли, что острова — это своеобразная открытая книга, повествующая об эволюции жизни на Земле. Эта книга преподает нам важный урок: естественные места обитания живых существ уязвимы и они подвергаются большой опасности, когда появляется человек.

Экологическое видообразование. Сущность экологического видообразования заключается в том, что зарождающаяся в рамках популяции новая форма обитает сначала в одном ареале с материнской популяцией. Но такое совмещение мест обитания оказывается временным, так как в результате все усиливающейся конкуренции неизбежно расхождение популяций по разным местам обитания.

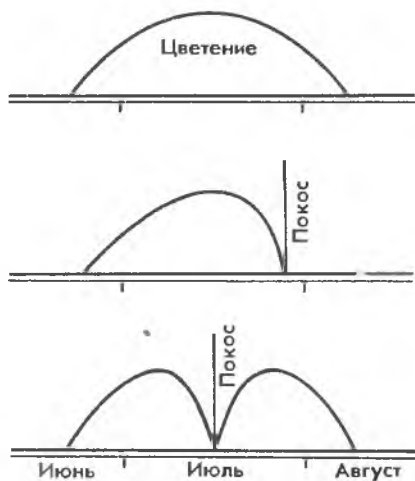


Рис. 31. Возникновение сезонных рас погремка большого — пример экологического видообразования

И те и другие растут на одном лугу, но не имеют возможности скрещиваться. Так возникли подвиды большого погремка, изолированные по срокам цветения (рис. 31).

Возможность экологического видообразования подтверждается наличием многих близких видов с налегающими и даже полностью совпадающими ареалами.

На ранних этапах эволюции географическое и экологическое видообразования действуют совместно, сменяя и дополняя друг друга. Первичная географическая изоляция может присовокупить действие экологической изоляции, поэтому четко определить границы каждого способа видообразования трудно.

Внезапное видообразование. Наряду с постепенным видообразованием существует и внезапное. Этот путь образования видов одно время противопоставлялся дарвиновскому. Синтетическая теория эволюции сняла существовавшие противоречия между дарвинизмом и генетикой, допуская, кроме постепенной дивергентной эволюции, формы внезапного видообразования путем *полиплоидии*, *гибридизации*, крупных *хромосомных мутаций*. Некоторые близкие виды (обычно растения) отличаются кратным числом хромосом. Так, виды картофеля имеют хромосомные наборы 12, 24, 48, 72п. Это дает основание предположить, что одним из путей видообразования является полиплоидия — удвоение, утроение и т. д. исходного числа хромосом предкового вида. Такие процессы воспроизведены в эксперименте посредством задержки расхождения хромосом в мейозе в результате воздействия колхицином. Полиплоиды, как правило, более жизнеспособны и, по-ви-

Этот процесс протекает относительно легко на основе сложившегося ранее внутривидового полиморфизма, который усиливается различными способами репродуктивной изоляции (несовпадением сроков размножения, различием в местах обитания). Например, на нескосываемых лугах в природе погремок большой цветет все лето. Но вот из года в год на лугах стали косить траву в середине лета. Все погремки, которые цветут в это время, не смогли давать семена. Естественным отбором, связанным с хозяйственной деятельностью человека, сохранялись и оставляли семена только те растения, которые либо цветут до начала косовицы, либо после покоса.

димому, могут вытеснять родительский вид. Среди животных полиплоидия как форма видообразования играет заметно меньшую роль и встречается у некоторых червей и насекомых. У других групп животных большую роль играет хромосомное видообразование, основанное на процессах фиксации крупных хромосомных мутаций, обеспечивающих репродуктивную изоляцию потомков от родительской формы

К внезапному видообразованию относится также гибридизация с последующим удвоением числа хромосом. Возможность гибридогенного происхождения видов допускал еще К. Линней и другие ботаники его поколения. Однако экспериментальные доказательства такой возможности и пути преодоления стерильности межвидовых гибридов были открыты лишь в 1920—1932 гг. Общеизвестны классические эксперименты по синтезу межродового гибрида между редькой и капустой, проведенные учеником Н. И. Вавилова — Г. Д. Карпеченко, и ресинтезу (воссозданию видов с целью установления их происхождения) культурной сливы путем гибридизации терна и алычи. Подобные гибридогенные виды описаны для ряда культурных и диких видов растений.

Таким образом, существуют разные пути видообразования. Ясно, что в случае крупных хромосомных перестроек, полиплоидии и гибридизации, когда практически сразу возникает репродуктивная изоляция, видообразование идет практически внезапно. Конечно, вслед за становлением изоляции пойдет длительный отбор мелких мутаций, но принципиален начальный скачкообразный акт. Все пути и формы процесса видообразования приводят к многообразию видов в природе.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Как Ч. Дарвин объяснял образование новых видов?
2. Чем постепенное видообразование отличается от внезапного?
3. Когда-то на Гавайских островах существовало более 20 видов цветочниц и большое число подвидов этих птиц, происшедших от одного родоначального предка. Какой это способ видообразования? Каков его механизм?
4. В пойме нижней Волги образовались виды житняка, щетинника, костра, которые дают семена до разлива реки или после него. Какой это способ видообразования?
5. Происходит ли процесс видообразования в наше время и можно ли его наблюдать? Если происходит, то приведите примеры.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СТЭ. ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ЭВОЛЮЦИОНИЗМА

Подведем итог сказанному и попытаемся в достаточно четкой форме сформулировать основные положения (постулаты) СТЭ и их дополнение данными современной эволюционной биологии.

Основные постулаты СТЭ. 1. Материалом для эволюции служат, как правило, очень мелкие, однако дискретные изменения наследственности — мутации.

2. Мутационный процесс, волны численности — факторы-поставщики материала для отбора — носят случайный и ненаправленный характер.

3. Единственный направляющий фактор эволюции — естественный отбор, основанный на сохранении и накоплении случайных и мелких мутаций.

4. Наименьшая эволюционная единица — популяция, а не особь, как то допускалось, исходя из представлений о возможности «наследования приобретенных признаков». Отсюда особое внимание к изучению популяции как элементарной структурной единицы вида.

5. Эволюция носит дивергентный характер, т. е. один таксон может стать предком нескольких дочерних таксонов, но каждый вид имеет единственный предковый вид, единственную предковую популяцию.

6. Эволюция носит постепенный и длительный характер. Видообразование как этап эволюционного процесса представляет собой последовательную смену одной временной популяции чередой последующих временных популяций.

7. Вид состоит из множества соподчиненных морфологических, биохимических, экологических, генетически отличных, но репродуктивно не изолированных единиц — подвидов и популяций. Однако известно немало видов с ограниченными ареалами, в пределах которых не удается вид расчленить на самостоятельные подвиды, а реликтовые виды могут состоять из единственной популяции. Судьба таких видов, как правило, недолговечна.

8. Обмен аллелями, «поток генов» возможны лишь внутри вида. Если мутация имеет положительную селективную ценность на территории ареала вида, то она может распространиться по всем его популяциям и подвидам. Отсюда определение вида как генетически целостной и замкнутой системы.

9. Поскольку основной критерий вида — его репродуктивная изоляция, то этот критерий не применим к формам без полового процесса (огромному множеству прокариот, низшим эукариотам).

10. Макроэволюция, или эволюция на уровне выше вида, идет лишь путем микроэволюции. Согласно СТЭ не существует закономерностей макроэволюции, отличных от микроэволюционных.

11. Исходя из всех упомянутых постулатов ясно, что эволюция непредсказуема, имеет ненаправленный к некоей конечной цели характер. Иначе говоря, эволюция не носит финалистический характер.

СТЭ сформировалась в 40-х годах XX в. Сегодняшняя эволюционная биология накопила огромный арсенал фактов и идей, не вошедших в синтетическую теорию эволюции.

Дальнейшее развитие эволюционизма. Современная эволюционная биология, как и СТЭ, не оставляет места для ламаркизма с его представлением о возможности эволюции особи. Постулат о популяции как элементарной единице эволюции остается в силе.

Естественный отбор бесспорно признается движущим фактором, но не единственным. Формирующую роль в небольших изолированных популяциях играет дрейф генов.

Новые открытия говорят о том, что эволюция далеко не всегда носит дивергентный и постепенный характер. Видообразование путем хромосомных перестроек, полиплоидии, гибридизации, по сути дела, внезапно.

Макроэволюция может идти как через микроэволюцию, так и минуя традиционные микроэволюционные пути.

Несмотря на колоссальное количество фактов, влияющих на эволюционный процесс, эволюция может быть прогнозируема. Хотя она и не носит финалистический характер, но, оценивая прошлую историю, генотипическое окружение и возможное влияние среды, можно предсказать общее направление эволюции.

Итак, из сказанного видно, что 131 год развития науки после выхода в свет труда Ч. Дарвина не прошел даром. Новые открытия заставляют каждое новое поколение биологов по-новому воспринимать и трактовать закономерности эволюционного процесса. Однако новейший синтез, создание целостной концепции эволюции, которая сможет заменить синтетическую теорию эволюции, пока еще дело будущего. Вместе с тем несомненно, что магистральный путь развития эволюционной биологии лежит в русле тех идей и тех направлений, которые были заложены гением Ч. Дарвина.

Глава IV. МАКРОЭВОЛЮЦИЯ. МНОГООБРАЗИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА И ПРИНЦИПЫ СИСТЕМАТИКИ

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Прогресс и регресс в эволюции. Идея о направленном характере эволюции, идущей по пути прогресса, т. е. по пути совершенствования организмов от простого к сложному, от низших форм жизни к высшим, общепринята. Однако не следует думать, что прогресс — единственный путь эволюционных изменений, в действительности это лишь одно из возможных направлений эволюции.

Современные представления о направлениях эволюции основываются на работах И. И. Шмальгаузена и А. Н. Северцова. А. Н. Северцов выделил понятия биологического регресса и прогресса.

Биологический прогресс означает победу вида или другой систематической группы в борьбе за существование. Признаками

биологического прогресса являются увеличение численности особей данной систематической группы, расширение ее ареала и распад на подчиненные систематические группы. Все три признака биологического прогресса связаны друг с другом. Увеличение численности особей заставляет вид (или любую другую систематическую группу) расширять границы ареала, заселять новые места обитания, что приводит к образованию новых популяций, подвидов, видов.

Биологическому прогрессу противостоит *биологический регресс*. Он характеризуется обратными признаками: снижением численности особей, сужением ареала, постепенным или быстрым уменьшением видового многообразия группы. Биологический регресс может привести вид к вымиранию. Общая причина биологического регресса — отставание в темпах эволюции группы от скорости изменений внешней среды.

Движущие силы эволюции действуют непрерывно, в результате чего совершенствуются приспособления. Однако под влиянием хозяйственной деятельности человека среда обитания живых существ изменяется значительно быстрее, чем формируются приспособления. Это приводит к сокращению численности, сужению ареалов и угрозе вымирания ряда видов. Минимальные шансы на выживание имеют крупные млекопитающие (особенно хищники), представленные небольшим числом особей, которые живут на небольшой территории, медленно размножаются и не мирятся с соседством человека. Таковы, например, тигр, гепард, барс, белый медведь. Напротив, биологического прогресса достигают мелкие плодовые животные, широко распространенные и легко уживающиеся с человеком. К ним из млекопитающих в первую очередь относится типично городское животное — крыса-пасюк, из птиц — ворона, из насекомых — таракан.

Человек на строго научной основе должен активно заботиться о восстановлении численности, расширении ареалов редких и исчезающих видов. Только биологический прогресс гарантирует видам будущее.

Каковы пути достижения биологического прогресса?

Ароморфоз — **главный путь достижения биологического прогресса**. Ароморфоз, или *морфофизиологический прогресс*, — возникновение в ходе эволюции признаков, повышающих уровень организации живых существ. С ароморфозами прежде всего связаны эволюционные преобразования кровеносной, дыхательной, нервной и других систем органов, оказывающих непосредственное влияние на увеличение интенсивности обмена веществ и энергии. Эволюция кровеносной системы от трубчатого сердца у ланцетника к двух-, трех- и четырехкамерному сердцу у высших позвоночных, сопровождавшаяся обособлением большого и малого кругов кровообращения, шла по пути ароморфоза. Высокий общий уровень организации млекопитающих был достигнут на основе прогрессивного развития кровеносной системы, легких, го-

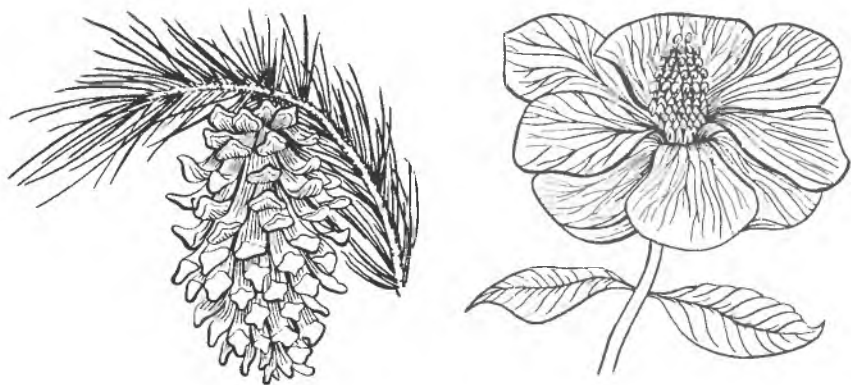


Рис. 32. Ароморфозы в развитии растений:

слева — сосновая шишка в начале развития смотрит верхушкой вверх, подставляя яйцеклетки на каждой из многочисленных чешуек переносимой ветром пыльце. После оплодотворения яйцеклетка развивается в семя. По мере созревания шишка переворачивается вниз, ее чешуи расходятся, и семена высыплются на землю. Этот способ размножения более эффективный, чем рассеивание спор; он возник около 300 млн. лет назад; *справа* — магнолия — древнейший представитель огромной группы продвинувшихся в эволюционном отношении цветковых растений: оплодотворение осуществляется не ветром, а переносчиками пыльцу насекомыми; семена магнолии остаются скрытыми в мясистой завязи до полного созревания

ловного мозга, возникновения живорождения, теплокровности и других ароморфозов.

Крупными ароморфозами в развитии растений были переход от размножения спорами к размножению семенами, образование цветка и др. (рис. 32).

Ароморфозы формируются на основе наследственной изменчивости и естественного отбора и являются приспособлениями широкого значения. Они дают преимущества в борьбе за существование и открывают возможности освоения новой, прежде недоступной среды обитания. Приобретение теплокровности позволило млекопитающим и птицам заселить даже холодные зоны Арктики и Антарктиды, почти недоступные другим организмам. Образование пыльцевой трубки освободило процесс оплодотворения от необходимости водной среды, что позволило цветковым растениям широко распространиться на суше. Этому способствовало приобретение и других ароморфных признаков: эпидермиса, устьиц, проводящей системы. Родоначальные виды, выходящие на путь ароморфозов и дающие начало новым крупным таксонам (псилофиты, стегоцефалы, археоптериксы и др.), в своей организации сочетали наряду с признаками старой формы новые прогрессивные черты, позволившие им, как будет показано ниже, осваивать новую среду обитания.

Идиоадаптация. Ароморфозам А. Н. Северцов противопоставлял *идиоадаптации* — частные приспособления живого мира, позволяющие освоить специфические условия среды. В отличие от ароморфозов идиоадаптации открывают перед организмами возможность прогрессивного развития без повышения уровня биологической организации. Например, благодаря формированию различных идиоадаптаций, млекопитающие смогли распространиться не только в различных географических зонах (от тропиков до ледяных пустынь), но и освоить самые разнообразные условия среды (на поверхности суши, в воде, почве, частично в воздухе). Это существенно снизило конкуренцию между видами за пищу, места обитания, причем уровень организации остался тем же. Для видов, семейств, отрядов млекопитающих характерны все типичные признаки этого класса: теплокровность, живорождение, вскармливание потомства молоком и др.

Типичные идиоадаптации у животных — особенности строения конечностей (например, у крота, копытных, ластоногих), особенности клюва (у хищных птиц, куликов, попугаев), приспособления придонных рыб (у скатов, камбаловых), покровительственная окраска насекомых и др. Примерами идиоадаптаций у растений могут служить многообразные приспособления к опылению, распространению плодов и семян и т. д.

Общая дегенерация. Ч. Дарвин отмечал, что способность организмов выживать в борьбе за существование вовсе не обязательно должна быть связана с более высокой организацией. Какие преимущества, например, могли бы получить инфузория или земляной червь из более высокой организации, чем они имеют? Условия жизни этих организмов относительно постоянны, они хорошо приспособлены каждый к своей среде. Вот почему естественный отбор не совершенствовал их в сторону прогрессивного усложнения. Более того, при упрощении условий среды организмы утрачивают часть признаков — развиваются по пути общей дегенерации, ведущей к упрощению организации. Это соответствует дарвиновскому учению, согласно которому эволюция заключается в выживании наиболее приспособленных, а не более высокоорганизованных существ.

Дегенерация часто связана с переходом к пещерному, сидячему или паразитическому образу жизни. Так, пещерные обитатели характеризуются редукцией органов зрения, снижением активности, отсутствием пигментации. Сидячие организмы (например, асцидии) утратили органы передвижения, хорду, имеющуюся у личиночной стадии. С пассивным образом жизни погонофор связана редукция кишечника, ротового и анального отверстий. Рудиментарные органы — одно из распространенных следствий дегенерации. Упрощение организации обычно сопровождается возникновением различных приспособлений к специфическим условиям жизни. Особенно наглядно это прослеживается на паразитических организмах. У свиного цепня, лентеца широкого и дру-

гих червей-паразитов человека и животных нет кишечника, слабо развита нервная система. Однако они отличаются огромной плодовитостью благодаря сильно развитым органам размножения, обладают присосками и крючками, при помощи которых держатся на стенках кишечника своего хозяина. Переход некоторых растений к паразитизму сопровождался снижением активности аппарата фотосинтеза, редукцией листьев до чешуй, преобразованием корней в присоски. Одновременно развивалась сложная система приспособлений к хозяину (химическая сигнализация при поиске растения-хозяина, химический механизм внедрения в ткани хозяина и др.).

Генетическая основа эволюционных изменений, ведущих к упрощению организации, — это мутации. Известны мутации, вызывающие недоразвитие (рудиментарность) органов (например, рудиментарность крыльев у насекомых), альбинизм (отсутствие пигмента) у млекопитающих и др. Если такие мутации не устраняются естественным отбором, они довольно быстро распространяются в популяции.

Соотношение направлений эволюции. В процессе эволюции происходит чередование относительно кратких периодов ароморфозов и последующих длительных периодов идиоадаптаций или общей дегенерации. Ароморфозы определяют этапы в развитии органического мира, поднимая организацию какой-либо группы на более высокую ступень эволюции и открывая перед ней новые возможности для освоения внешней среды (рис. 33). Далее развитие идет по пути идиоадаптаций, обеспечивающих более высо-

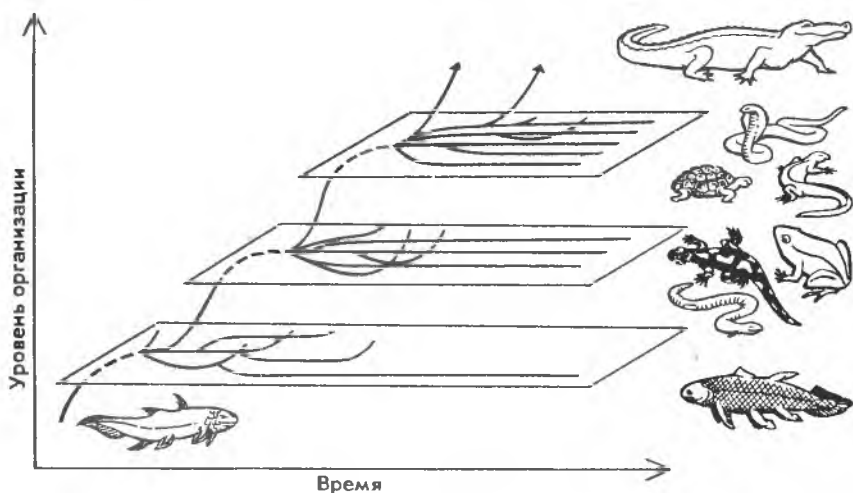


Рис. 33. Прогрессивная направленность эволюционного процесса: ароморфозы как бы приподнимают группу на качественно более высокий уровень развития и вызывают широкий спектр частных приспособлений — идиоадаптаций

координированной группе освоение доступного разнообразия обитания. При переходе организмов в простые условия формирование частных приспособлений сопровождается упрощением строения. Общая дегенерация всегда вторична по отношению к прогрессивному развитию, так как всякое упрощение предполагает некоторый уровень исходной сложности. Тем не менее ароморфные изменения организации диалектически связаны с ее упрощением. Направление эволюции по пути ароморфоза сопряжено с упрощением тех признаков, которые утрачивают свое значение в новых условиях или препятствуют дальнейшему совершенствованию организации. Возникновение перьевого и волосяного покрова у птиц и млекопитающих сделало излишним покров из чешуи, имеющийся у их предков пресмыкающихся.

Направления эволюции органического мира, сочетаясь и сменяя друг друга, в целом приводят к усложнению, прогрессивной направленности развития живой природы, к возникновению целесообразности организмов — их соответствия условиям обитания и способности меняться по мере изменения этих условий.

Необратимость эволюции. Принцип необратимости эволюции сформулировал еще Ч. Дарвин: «Вид, раз исчезнувший, никогда не может появиться вновь, если бы даже снова повторились совершенно тождественные условия жизни». Повторяемость условий вызывает *конвергентное сходство* у организмов. Так, форма тела современных дельфинов напоминает форму тела мезозойских ихтиозавров. Переход некоторых наземных позвоночных, например дельфинов, в водную среду сопровождался лишь конвергентным изменением конечностей, а не принципиальной их перестройкой по возвратному пути к рыбам. Конвергенция затрагивает только изменение внешнего строения органов. Внутреннее строение ласт у дельфина или кита сохраняет основные признаки пятипалой конечности, свойственные млекопитающим.

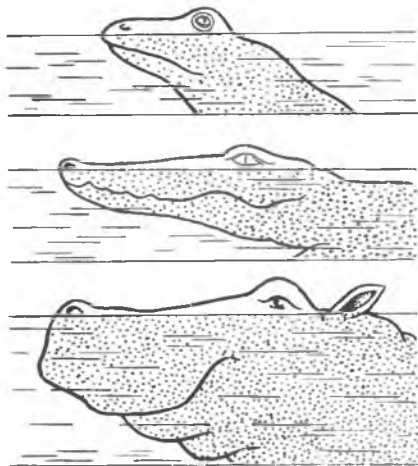


Рис. 34. Правило необратимости эволюции: в эволюции возможно повторное возникновение отдельных признаков, вызванное сходством направленного действия естественного отбора (у лягушки, крокодила, бегемота сходное положение глаз). Однако невозможно возникновение всего комплекса признаков у разных видов

Ч. Дарвин и его последователи доказали, что при повторении условий могут повторяться некоторые признаки (рис. 34), но сами виды отличаются друг от друга не отдельными признаками, а сложным комплексом признаков. Повторение всего комплекса признаков статистически невероятно. С логической необходимостью это вытекает из представлений о движущих силах эволюционного процесса. Генофонд популяций постоянно обновляется в результате мутаций и поэтому никогда не копирует генофонд предыдущих поколений. Генетически обновленная популяция вступает в другие отношения с окружающей средой, и результаты естественного отбора будут иными. Закон необратимости эволюции отражает неповторяемость эволюционного процесса, сущность которого не в повторении, а в образовании нового качества.

Неравномерность эволюции. Ч. Дарвин отмечал также различия в темпах эволюции разных групп организмов. Имеется много примеров так называемых «живых ископаемых», существующих на Земле почти без изменения сотни миллионов лет (мечехвост, кистеперая рыба, гаттерия). Однако некоторые животные и растения изменяются очень быстро. На Филиппинах и в Австралии менее чем за 800 тыс. лет образовалось несколько новых родов мышей. Часто темп эволюции определяют не в астрономическом времени (годы, тысячелетия), а в биологическом (по числу поколений, необходимых для возникновения нового вида, приспособления). Темпы эволюции низки у организмов, живущих в постоянных условиях (глубины океана, пещерные воды), при слабой интенсивности отбора (например, на островах, где нет хищников). Наоборот, у организмов, живущих в лабильных условиях, при сильной интенсивности отбора, темпы эволюции высоки. Достаточно вспомнить быстрое распространение на Земле устойчивых к действию ядохимикатов различных форм насекомых-вредителей.

Ускорение эволюции. Эволюция жизни на Земле характеризуется тенденцией к постепенному ускорению. От возникновения первых живых существ (около 4 млрд. лет назад) до первого массового развития многоклеточных прошло более 2,5 млрд. лет. Для достижения огромного разнообразия животных и растений было необходимо около 400 млн. лет, для развития млекопитающих и птиц — около 100 млн. лет, приматов — около 60 млн. лет, для рода Человек — 6 млн. лет, для *Homo sapiens* — 60 тыс. лет. Древний каменный век (палеолит) продолжался столько же, сколько последующие неолит, бронзовый и железный века вместе взятые. Весь ход истории свидетельствует об ускорении развития живой природы.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. В чем сущность биологического прогресса и биологического регресса?

2. Каковы пути достижения биологического прогресса?
3. Какие ароморфозы произошли у птиц?
4. Назовите идиоадаптации в классе млекопитающих.
5. Может ли общая дегенерация привести к биологическому прогрессу?
6. Мышь и землеройка принадлежат к разным отрядам класса млекопитающих — грызунам и насекомоядным, но очень похожи по величине и форме тела. Как объяснить это сходство?
7. Докажите, что эволюция — процесс необратимый.

МНОГООБРАЗИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА. ПРИНЦИПЫ СИСТЕМАТИКИ

В итоге эволюционного процесса возникло то разнообразие форм жизни, которое наблюдается при изучении современных и ископаемых видов животных, растений, грибов и микроорганизмов. Их классификацией, т. е. группировкой по сходству и родству, занимается отрасль биологии, называемая *систематикой*.

Изучение разнообразия животного мира, описание новых, еще не известных науке видов пока далеки от завершения. Находки новых видов возможны даже среди таких крупных животных, как млекопитающие. Например, в фауне СССР в 3—4 года описывается новый, не известный науке вид. Скажем, что в середине 50-х годов XX в. ленинградский зоолог А. В. Иванов открыл новый тип животных — *погонофор* (рис. 35). По масштабам это открытие может быть сравнимо с открытием новой планеты Солнечной системы.

Огромное многообразие живых организмов ставит особые задачи перед систематикой — отраслью биологии, занимающейся классификацией видов живых существ. Основоположителем систематики, как известно, был К. Линней. В первом издании его основного труда — «Система природы» — было лишь 13 страниц, а в последнем, двенадцатом — 2335. Если бы мы сегодня попытались

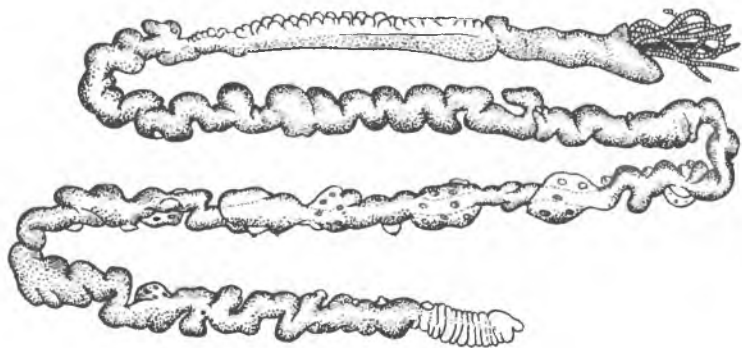


Рис. 35. Погонофора

описать все известные нам виды растений, животных, грибов, микроорганизмов, уделив каждому виду по 10 строк, то описания заняли бы 10 000 таких книг, как «Система природы».

Искусственная и естественная системы. Если нужно установить порядок в книгохранилище, то исходят из самых разных принципов. Можно классифицировать книги, например, по цвету обложки или формату. Подобная классификация книг искусственна, так как она не отражает главного — тематического содержания книг.

Система К. Линнея была искусственной. В основу классификации он положил не истинное родство организмов, а их сходство по некоторым наиболее легко отличимым признакам. Объединив растения по числу тычинок, по характеру опыления, К. Линней в ряде случаев создал совершенно искусственные группы. Так, в класс растений с пятью тычинками он объединил морковь, лен, лебеду, колокольчики, смородину и калину. Из-за различий в числе тычинок ближайшие родственники, например брусника и черника, попали в разные классы. Зато в другом классе (однодомных растений) встретились осока, береза, дуб, ряска, крапива и ель. Однако, несмотря на эти очевидные просчеты, искусственная система К. Линнея сыграла огромную роль в истории биологии, так как помогала ориентироваться в огромном многообразии живых существ.

Когда К. Линней и его последователи группировали близкие виды в роды, роды — в семейства и прочее, они брали в основу внешнее сходство форм. Причины такого сходства оставались нераскрытыми.

Решение этого важнейшего вопроса принадлежит Ч. Дарвину, который показал, что причиной сходства может быть общность происхождения, т. е. *родство*. Со времен Ч. Дарвина систематика стала эволюционной наукой. Если теперь зоолог-систематик объединяет роды собак, лисиц и шакалов в единое семейство псовых, то он исходит не только из внешнего сходства форм, но и из общности их происхождения (родства). Общность происхождения доказывается изучением исторического развития описываемых видов.

Для того чтобы построить систему той или иной группы, ученые используют совокупность наиболее существенных признаков: изучают ее историческое развитие по ископаемым остаткам, исследуют сложность анатомического строения современных видов, особенности размножения, сложность организации (доклеточные — клеточные, безъядерные — ядерные, одноклеточные — многоклеточные), сравнивают их эмбриональное развитие, особенности химического состава и физиологии, изучают тип запасющих веществ, современное и прошлое распространение на нашей планете. Это позволяет определить положение данного вида среди остальных и построить естественную систему, отражающую степень родства между группами организмов.

Вот так выглядит очень упрощенная схема соподчинения систематических единиц, используемых для естественной классификации:

ИМПЕРИЯ	(доклеточные и клеточные)
НАДЦАРСТВО	(безъядерные и ядерные)
ЦАРСТВО	(растения, животные, грибы, дробянки, вирусы)
ПОДЦАРСТВО	(одноклеточные, многоклеточные)
ТИП	(например, членистоногие или хордовые)
КЛАСС	(например, насекомые)
ОТРЯД	(например, бабочки)
СЕМЕЙСТВО	(например, белянки)
РОД	(например, белянка)
ВИД	(например, капустная белянка)

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. В чем значение трудов К. Линнея для развития систематики?
2. Можно ли сказать, что систематика является отображением эволюционного процесса? Поясните ответ.

ШИРОКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОРГАНИЗМОВ: ДОКЛЕТОЧНЫЕ И КЛЕТОЧНЫЕ (БЕЗЪЯДЕРНЫЕ) ФОРМЫ ЖИЗНИ

Две империи и пять царств природы. Подавляющее большинство ныне живущих организмов состоит из клеток. Лишь немногие примитивнейшие организмы — вирусы и фаги — не имеют клеточного строения. По этому важнейшему признаку все живое делится на две империи — доклеточных (вирусы и фаги) и клеточных (сюда относятся все остальные организмы: бактерии и близкие к ним группы; грибы; зеленые растения; животные).

Представление о том, что все живое делится на два царства — животных и растений, ныне устарело. Современная биология признает разделение на пять царств: прокариот, или дробянок, зеленых растений, грибов, животных; отдельно выделяется царство вирусов — доклеточных форм жизни.

Доклеточные формы жизни — вирусы и фаги. Империя доклеточных состоит из единственного царства — *вирусов* (рис. 36). Это мельчайшие организмы, их размеры колеблются от 12 до 500 мкм. Лишь самые крупные вирусы (например, вирус оспы) можно увидеть при очень большом увеличении (в 1800—2200 раз) оптического микроскопа. Размеры мелких вирусов равны крупным молекулам белка. Большинство вирусов так малы, что могут проходить через поры специальных бактериальных фильтров,

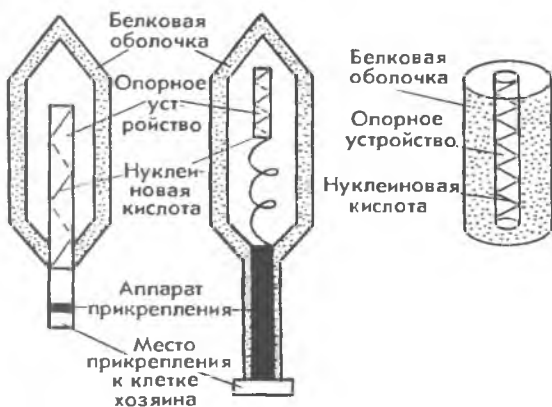


Рис. 36. Схема строения вирусов и фагов (справа)

задерживающих бактерии, но пропускающих вирусы. Вот почему говорят о «фильтрующихся вирусах». Вирусы — паразиты клеток животных, растений, бактерий. Вирусы бактерий называются *фагами*.

Вирусы принципиально отличаются от всех других организмов. Назовем их важнейшие особенности:

1. Они могут существовать только как внутриклеточные паразиты и не могут размножаться вне клеток тех организмов, в которых они паразитируют.

2. Содержат лишь один из типов нуклеиновых кислот — либо РНК, либо ДНК (все клеточные организмы содержат и ДНК, и РНК одновременно).

3. Имеют очень ограниченное число ферментов, используют обмен веществ хозяина, его ферменты, энергию, полученную при обмене веществ в клетках хозяина.

4. Зрелые вироспоры («споры» вирусов) могут существовать вне клетки хозяина, в этот период они не обнаруживают никаких признаков жизни.

В настоящее время известно около 200 форм животных вирусов, 170 растительных вирусов и 50 вирусов, паразитирующих в бактериях.

Вирусы впервые были открыты в 1892 г. выдающимся русским биологом Д. И. Ивановским, который стал основателем новой биологической дисциплины — *вирусологии*.

Происхождение вирусов. Вопрос о происхождении вирусов неясен. Согласно одной точке зрения вирусы — древнейшие организмы Земли. Однако вирусы не могут жить, не паразитируя на более высокоорганизованных организмах. Вот почему большинство ученых не согласны с тем, что вирусы — древнейшие формы жизни на Земле.

Согласно другой точке зрения вирусы — это потомки предъ-

ядерных сине-зеленых и бактерий, испытавших сильное упрощение в связи с переходом к паразитизму. Утрата многих биологически важных свойств, согласно этой точке зрения, рассматривается как вторичное явление.

Существует и третья точка зрения. Вирусы рассматриваются как «заблудившиеся» или «одичавшие» гены. В самом деле, участок молекулы ДНК (ген) кодирует синтез того или иного белка. Энергия, необходимая для синтеза белка, как известно, поставляется извне от своеобразных энергетических станций клетки — митохондрий. Эти энергетические станции отсутствуют у вирусов, вследствие чего для синтеза белковой оболочки необходимо использовать энергию, вырабатываемую той клеткой, в которой они паразитируют. Несомненное сходство функционирования гена и нуклеиновых кислот вируса дает основание рассматривать их как производные «заблудившихся» или «одичавших» генов.

Роль вирусов в эволюции клеточных организмов. Данные, накопленные в середине 70-х годов, говорят о том, что вирусы могут играть большую роль в эволюции клеточных организмов, в клетках которых они паразитируют,— прокариот, растений и животных.

Во-первых, было обнаружено, что вирусы — мощный мутагенный фактор. После вирусных заболеваний (инфекционная желтуха, корь, грипп, энцефалит и др.) у человека и животных резко возрастает число поврежденных хромосом. Таким образом, вирусы являются поставщиками новых мутаций для естественного отбора. Во-вторых, геном вируса может включаться в геном хозяина и вирусы могут переносить генетическую информацию не только от одной особи данного вида к другой, но и от одного вида к другому. Экспериментально показано, что с помощью вирусов участки ДНК от одного вида могут передаваться другому виду.

Клеточные организмы. Организмы с клеточным строением объединяются в империю *клеточных*, или *кариот* (от греч. карион — *ядро*). Типичная структура клетки, свойственная большинству организмов, возникла не сразу. В клетке предшественников древнейших из современных типов организмов (сине-зеленых и бактерий) цитоплазма и ядерный материал с ДНК еще не отделены друг от друга.

По наличию или отсутствию ядра клеточные организмы делят на два надцарства: *безъядерные (прокариоты)* и *ядерные (эукариоты)* (от греч. протос — *первый* и эу — *собственно, настоящий*). К первой группе относят сине-зеленых и бактерий, ко второй — всех животных, зеленые растения и грибы (табл. 9).

Надцарство прокариот. К прокариотам относят наиболее просто устроенные формы клеточных организмов. ДНК прокариот образует одну двойную спиралевидную нить, которая замкнута в кольцо. Эта кольцевидная нить ДНК состоит из значительного

числа генов, но это еще не настоящая хромосома, которая появляется только у эукариот. В связи с тем, что ДНК представлена единственной нитью, существует лишь одна группа сцепления генов.

Вот основные признаки прокариот:

— кольцевидная ДНК сосредоточена в центральной части клетки, не отделенной ядерной оболочкой от остальной части клетки;

— отсутствуют митохондрии;

— они лишены пластид;

— клеткам прокариот несвойствен митоз;

— нет центриолей;

— отсутствуют хромосомы;

— не сформированы веретена;

— нет пищеварительных вакуолей; отсутствуют настоящие жгутики; неизвестен настоящий половой процесс; гаметы не образуются.

Надцарство прокариот состоит из единственного царства дробянок, куда входят два подцарства: сине-зеленые и бактерии.

Прокариоты: подцарство и тип сине-зеленых. К сине-зеленым относится 1400 современных видов. В клетках сине-зеленых нет не только ядра, но и нет хроматофоров — клеточных образований, содержащих пигменты и принимающих участие в фотосинтезе, нет вакуолей. В центральной плотной части клеток сине-зеленых сосредоточены *нуклеопротейды* — соединения нуклеиновых кислот с белком.

Сине-зеленые замечательны тем, что способны использовать азот воздуха и превращать его в органические формы азота. При фотосинтезе они могут использовать углекислый газ как единственный источник углерода. В отличие от фотосинтезирующих бактерий сине-зеленые при фотосинтезе выделяют молекулярный кислород.

В периферической части клеток диффузно распределены синий и бурый пигменты, определяющие в сочетании с хлорофиллом ¹ сине-зеленый цвет этих организмов. Некоторые сине-зеленые могут иметь дополнительные пигменты, изменяющие их характерный цвет до черного, коричневого, красного. Цвет Красного моря определяется широким распространением в нем пурпурно пигментированных сине-зеленых.

Сине-зеленые могут использовать как солнечную энергию (автотрофность), так и энергию, выделяющуюся при расщеплении готовых органических веществ (гетеротрофность). Размножаются сине-зеленые только бесполым путем.

Сине-зеленые представлены не только одноклеточными, но и колониальными, нитчатыми и многоклеточными формами. Однако

¹ Зеленые пигменты — хлорофиллы существуют в виде четырех форм, слегка отличных по химическому составу: *a*, *b*, *c*, *d*.

многоклеточные ядерные организмы произошли не от многоклеточных сине-зеленых, а от одноклеточных ядерных форм. Таким образом, у сине-зеленых впервые отмечается попытка прорыва на следующий этап — на уровень многоклеточности. Однако эта попытка не имела особых последствий для эволюции. Сине-зеленые — древнейшие организмы Земли. Однако и поныне они играют большую роль в круговоротах веществ и энергии.

Прокариоты: бактерии. В настоящее время известно около 3000 видов бактерий. Часть бактерий способна прямо утилизировать солнечную энергию (автотрофы), другие (гетеротрофы) получают энергию, используя органические вещества. Среди автотрофных бактерий есть фотосинтезирующие и хемосинтезирующие. Солнечную энергию способны использовать и аккумулировать зеленые и пурпурные бактерии. У зеленых бактерий окраска определяется особым веществом — бактериохлорофиллом, а не хлорофиллом *a*, как у сине-зеленых. Нет синего и бурого пигментов. При фотосинтезе не выделяется O_2 .

Хемосинтез, т. е. использование энергии окислительных процессов неорганических веществ, распространен лишь среди некоторых бактерий. Серобактерии способны окислять сероводород до серы. Нитрифицирующие бактерии превращают аммиак в азот и азотную кислоту. Преобладание азота в современной атмосфере — следствие деятельности нитрифицирующих бактерий. Железобактерии превращают закисное железо в окисное.

Среди гетеротрофных бактерий одна часть использует энергию процессов брожения. Конечным продуктом процесса брожения являются органические кислоты. Наиболее известны молочнокислые, маслянокислые и уксуснокислые бактерии. Другая часть гетеротрофных бактерий — гнилостные бактерии — используют энергию, высвобождающуюся при расщеплении белков. Конечный продукт распада при таких гнилостных процессах — азотные соединения, в последующем окислении которых принимают участие нитрифицирующие бактерии.

Бактерии, как и сине-зеленые, существовали уже около 3 млрд. лет назад и играли огромную роль в создании современного состава атмосферы, в изменении лица Земли.

Вопрос о происхождении бактерий до конца неясен. Несомненно, что ряд бактерий возник непосредственно от сине-зеленых. Известны бактерии, очень близкие к сине-зеленым, отличающиеся от последних лишь отсутствием пигмента.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Что характерно для вирусов как доклеточных форм?
2. Что характерно для всех клеточных организмов?
3. Какова роль вирусов в эволюции клеточных организмов?
4. Какие группы организмов относятся к прокариотам? Дайте их характеристику.

ЭУКАРИОТЫ. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЭУКАРИОТИЧЕСКОЙ КЛЕТКИ

Надцарство эукариот. Все остальные организмы относятся к надцарству *ядерных*, или *эукариот*. Строение клетки эукариот было описано выше (см. рис. 1).

Основные признаки эукариот:

- клетка разделена на цитоплазму и ядро;
- большая часть ДНК сосредоточена в ядре. Именно ядерная ДНК отвечает за большую часть процессов жизнедеятельности клетки и за передачу наследственности дочерним клеткам;
- ядерная ДНК расчленена на несколько нитей, не замкнутых в кольцо;
- эти нити линейно вытянуты внутри хромосом, отчетливо видимых в процессе митоза;
- всегда есть митохондрии (у зеленых растений есть еще и пластиды);
- есть митоз;
- свойствен половой процесс;
- рекомбинация наследственного материала обеспечивается мейозом и половым процессом;
- образуются гаметы;
- есть настоящие жгутики;
- характерны пищеварительные вакуоли;
- не способны к фиксации свободного азота.

Эукариоты делятся на три царства: растений, грибов, животных.

Симбиогенетическое происхождение клетки эукариот. Еще в начале XX в. русские ботаники А. С. Фаминцин и К. С. Мережковский выдвинули гипотезу о том, что клетка зеленых растений (эукариот) получила пластиды в результате симбиоза бесхлорофилльной клетки с клетками сине-зеленых. Эта гипотеза симбиогенетического происхождения клетки эукариот вновь привлекла внимание в середине XX в. Помимо ядерной ДНК небольшое ее количество в клетке эукариот обнаружено в митохондриях, пластидах, центриолях, в основании жгутиков.

Электронно-микроскопическое сравнение строения жгутиков и центриолей говорит о несомненности их родства. В основе этих органелл всегда находится одиннадцать трубочек, девять из которых расположены по окружности и две лежат в центре. Установлено, что внеядерная ДНК жгутиков и центриолей способна самостоятельно редуцироваться. Оказалось, что ДНК митохондрий, пластид, по-видимому, и жгутиков, а также центриолей имеет нитчатую структуру, связанную в кольцо, как у типичных прокариот. Все эти факты позволили в конце 60-х годов вновь вернуться к гипотезе симбиогенетического происхождения клетки эукариот.

Названную гипотезу разработала американская исследова-

тельница Л. Маргулис. Согласно этой гипотезе первичная клетка крупной прокариотической бактерии, вступив в симбиоз с клетками сине-зеленых, приобрела пластиды. Симбиоз с гетеротрофными прокариотическими клетками привел к их преобразованию в митохондрии. Симбиоз со спирохетоподобными бактериями мог привести к возникновению жгутиков, с одной стороны, и к трансформации части этих спирохетоподобных клеток в центриоли — с другой. Биохимические, генетические, электронно-микроскопические данные последних лет делают гипотезу Л. Маргулис все более обоснованной. Правда, пока эта гипотеза не объясняет возникновение настоящего ядра эукариот, что могло произойти вследствие усложнения ядерного материала. Во всяком случае, двойственная природа ДНК ядра и ДНК цитоплазматических органелл и удивительное сходство последней с ДНК прокариот свидетельствует о том, что симбиоз сыграл выдающуюся роль в возникновении клетки эукариот.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. В какие империи и царства объединяет современная систематика живые организмы?
2. Чем отличаются вирусы от всех других организмов?
3. Что вам известно о происхождении вирусов и их роли в эволюции живых организмов?
4. В чем различие в строении и функциях клеток прокариот и эукариот?
5. В чем сущность гипотезы симбиотического происхождения клетки эукариот?

ШИРОКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОРГАНИЗМОВ: ЦАРСТВА РАСТЕНИЙ И ГРИБОВ

Царство растений. Сюда относят зеленые растения с автотрофным питанием. Очень редко встречается гетеротрофность (например, у насекомоядного растения росянки и паразитического растения омелы). У зеленых растений всегда есть пластиды. Клетки, как правило, имеют наружную оболочку из целлюлозы. Царство растений подразделяется на три подцарства: настоящие водоросли, багрянковые (красные водоросли) и высшие растения (см. форзац в начале книги).

Подцарство Настоящие водоросли. Настоящие водоросли представляют собой низшие растения, характеризующиеся общими особенностями: это автотрофные организмы с подвижными гаметами, во всех клетках тела имеются хроматофоры.

Тело простейших водорослей состоит из одной или двух клеток, обычно имеющих жгутики. Группы клеток у некоторых видов могут объединяться друг с другом слизистой оболочкой. Множество водорослей представлено нитчатыми формами, у которых клетки



Рис. 37. Настоящие водоросли

идут одна за другой в один слой. Известны водоросли с пластинчатым строением тела. Наконец, у некоторых форм тело состоит как бы из одной гигантской клетки (обычно многоядерной). Тело таких водорослей расчленено на листовидную и корневидную части, например у сифоновых водорослей (рис. 37). В последнем случае говорят о сифоновом, или неклеточном, строении.

К настоящим водорослям относится семь типов растений: золотистые водоросли, или хризомонадовые (около 400 видов), разножгутиковые (200—300 видов), диатомовые (около 10 000—15 000 видов), эвгленовые (около 400 видов), пиррофитовые (1100 видов), зеленые водоросли (около 5700 видов), бурые водоросли (900—1500 видов). Строение тела водорослей разных типов может быть сходным, однако это сходство носит поверхностный характер и вызвано тем, что представители разных типов водорослей живут в сходных условиях. По особенностям строения клеток, химическому составу красящих и запасających веществ типы водорослей существенно отличаются друг от друга. Так, в хромофорах золотистых водорослей помимо хлорофилла имеются бурый пигмент (фукоксантин) и желтый пигмент (лютеин). Эти пигменты придают водорослям золотистый оттенок. Только у диатомовых водорослей встречается желтый пигмент (диатомин). У пиррофитовых водорослей наряду с зеленым пигментом (хлорофиллом) имеются специфические пигменты (ксантин и перидинин). У зеленых и эвгленовых водорослей окраску тела определяют хлорофилл *a* и каротиноиды (ксантофилл и каротин). Запасаживающими веществами у разножгутиковых, диатомовых водорослей являются жирные масла, у золотистых водо-

рослей, кроме того, запасается углевод гликозин, у эвгленовых — углевод парамид. Интересно отметить, что у пиррофитовых и зеленых водорослей запасящее вещество — крахмал. Бурая водоросль ламинария содержит высокий процент йода. Она заготавливается в дальневосточных морях как пищевой продукт, называемый «морская капуста». Запасящее вещество бурых водорослей — ламинарин (особый полисахарид, растворимый в воде).

Все эвгленовые водоросли — одноклеточные, среди диатомовых встречаются колониальные формы. У золотистых, разножгутиковых, пиррофитовых, зеленых водорослей наблюдаются виды с нитчатым, колониально-многоклеточным и сифоновым строением, т. е. опять как бы делается попытка прорыва на следующий уровень организации — многоклеточности, где разные клетки несут различные функции. Многоклеточность и расчленение тела на части, выполняющие разные функции, выражены у бурых водорослей. Переход от одноклеточности к многоклеточности — пример ароморфоза в эволюции зеленых растений.

В разных типах водорослей прослеживается тенденция к специализации и разделению половых клеток на мужские и женские. У золотистых и эвгленовых водорослей подвижны и вегетативная, и половая стадии. У разножгутиковых подвижность вегетативной стадии наблюдается редко. У диатомовых и зеленых водорослей вегетативная стадия неподвижна. Вегетативная стадия у бурых водорослей — настоящее многоклеточное растение — неподвижна, гаметы снабжены жгутиками.

Подцарство Багрянковые. Тип Красные водоросли. К багрянковым относят единственный тип — красные водоросли, в котором разные исследователи насчитывают от 2500 до 4000 видов. Окраска красных водорослей определяется наличием в их клетках помимо хлорофилла красного пигмента (фикоэритрина) и синего пигмента (фикоцианина). Их смесь придает телу водорослей различные оттенки: розовый, красноватый, пурпурный, багровый. Вегетативная стадия — сложно расчлененное тело — неподвижна. Удивительная особенность красных водорослей — отсутствие подвижности гамет. Красные водоросли стоят особняком среди других типов растений, и их происхождение до сих пор остается загадкой.

Красные водоросли — более глубоководные формы, нежели другие типы водорослей. Их можно найти на глубине до 100 м. Обладающие наименьшей энергией лучи длинноволновой части спектра (красные, оранжевые) не могут проникать на большие глубины. Вслед за ними поглощаются лучи со средней длиной волны (зеленые). Глубже всего проникают в толщу воды коротковолновые лучи (голубые, синие и фиолетовые). Пигмент фикоэритрин, в отличие от хлорофилла, способен поглощать синие и фиолетовые лучи. Благодаря этой особенности красные водоросли могут жить на больших глубинах, нежели другие типы водорослей.

Подцарство Высшие растения. К высшим растениям относят группу растений, тело которых расчленено на корень, стебель и листья. Многоклеточность у высших растений истинна, т. е. клетка корня отлична от клетки стебля, клетка стебля от клетки листа. У истинно многоклеточных форм, к каковым принадлежат высшие растения, клетки специализированы, т. е. несут строго определенную функцию. Однако эта специализация не абсолютна. При некоторых условиях клетки стебля могут превращаться в клетки корня, в подземных частях растений при освещении может накапливаться хлорофилл (вот почему клубни картофеля зеленеют на свету).

Высшие растения подразделяются на две группы: споровые и семенные растения.

Группа споровых растений. Споровые растения — первые из зеленых растений, вышедшие на сушу. Однако подвижные, снабженные жгутиками гаметы могут передвигаться только в воде. Таким образом, выход на сушу неполный. Размножаются эти растения спорами. К споровым относят два типа: мохообразные и папоротникообразные.

Тип мохообразные содержит 23 000 видов (мхи, печеночники). Бесполое поколение (спорофит) редуцировано, преобладает половое поколение (гаметофит). Тело мхов — гаплоидно, диплоиден лишь небольшой спорофит. Спермий несет два жгутика. Растения не имеют сосудистых пучков.

Тип папоротникообразные включает 6600 видов (хвощи, плауны, папоротники, рис. 38). Спорофит преобладает над гаметофитом («заросток» папоротника). Спермий несет множество жгу-

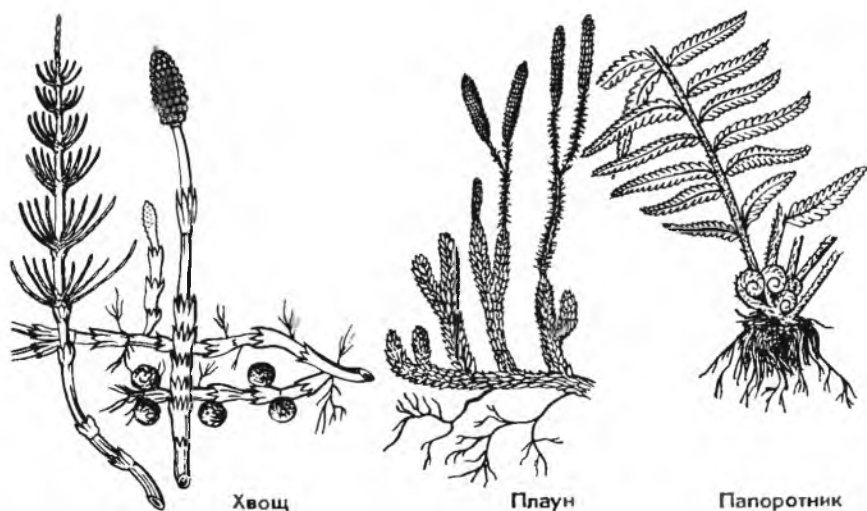


Рис. 38. Высшие споровые растения (папоротникообразные)

тиков. Корни, стебли и листья этих растений связаны сосудистой системой, по которой транспортируются вода и питательные вещества. Приобретение сосудистой системы — важный ароморфоз в эволюции растений.

Группа семенных растений. Семенные растения размножаются семенами, в их жизненном цикле нет жгутиковой стадии. Благодаря этому процесс размножения семенных растений может быть не связан с водой, что позволило этой группе растений отойти от берегов в глубь суши. К семенным относится два типа.

Тип голосеменные имеет 640 видов. Гинкго, хвойные не имеют настоящих цветков и семян, семена не заключены в завязь, а образуются голыми на поверхности чешуй шишек.

Тип покрытосеменные содержит 200 000 видов (цветковые растения). У этого типа растений семена заключены в завязь. Основное разнообразие травянистых, кустарниковых и древесных растений образовано представителями этого типа. Цветковые формы (покрытосеменные) характеризуются более совершенным размножением по сравнению с голосеменными. (Также живорождение дает млекопитающим преимущество по сравнению с яйцекладущими рептилиями.) Этим и вызван расцвет современных цветковых растений.

Царство грибов. Грибы — группа бесхлорофилловых эукариот, включающая представителей двух типов: миксомицеты и грибы. Это гетеротрофные формы, использующие энергию, образующуюся при расщеплении органических соединений. Как и у животных, у гетеротрофных грибов и миксомицетов запасющим веществом является полисахарид гликоген.

К *миксомицетам* (или *слизистым грибам*) относят более 400 видов. Тело миксомицетов состоит из множества ядер и цитоплазмы, не разделенной на отдельные клетки. Такое многоядерное тело называется плазмодием. Плазмодий миксомицетов имеет вид беловато-желтоватой слизистой массы, которую иногда можно увидеть среди преюющих листьев или в сыром трухлявом пне. Выпуская ложноножки, миксомицеты могут передвигаться и питаться, подобно амебе.

Миксомицеты, по-видимому, — потомки бесцветных жгутиковых, стоявших у оснований трех стволов: растений, животных и грибов.

Тип грибов включает от 89 000 до 100 000 видов бесхлорофилльных растений. Сюда относят такие разнообразные формы, как хлебная плесень, плесневый грибок пенициллум, шляпочные съедобные грибы, трутовики. Общая особенность для столь разнообразных форм — образование вегетативного тела гриба из нитей (гифов). Эти гифы образуют грибницу (мицелий). В строении тела грибов наблюдается переход от неклеточного (сифонового) к многоклеточному строению.

Гаметы большинства грибов подвижны и несут два жгутика. Клеточная оболочка обычно состоит из хитина — того же веще-

ства, из которого образованы покровы тела членистоногих животных.

Группа симбиотических низших эукариот. Тип лишайники. Лишайники — своеобразная группа организмов, возникающая в результате симбиоза. Тело лишайника образовано грибом, в котором могут жить сине-зеленые и зеленые водоросли.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Дайте общую характеристику царства растений.
2. На какие подцарства делится царство растений? Дайте их сравнительную характеристику.
3. В каких типах наблюдаются попытки перехода к многоклеточности?
4. На какие группы разделяются высшие растения?
5. Какие приспособления способствовали освоению суши высшими растениями?
6. В каком типе осуществился переход к многоклеточности?
7. Почему грибы образуют отдельное от растений царство?
8. В чем состоят особенности питания грибов?
9. Какие группы относятся к царству грибов?

ШИРОКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОРГАНИЗМОВ: ЦАРСТВО ЖИВОТНЫХ

Общая характеристика животных. Все животные — гетеротрофные организмы. Они активно добывают органические вещества, поедая, как правило, живые организмы. Добыча такого корма требует *подвижности*. С этим и связано развитие разнообразных органов движения (например, ложноножки амёбы, реснички инфузорий, крылья насекомых, плавники рыб и т. д.). Но для передвижения необходима *сократимость*. Отсюда следует сократимость протоплазмы у простейших, образование мышечных клеток у многоклеточных вплоть до образования особой мышечной системы. Быстрые движения невозможны без существования подвижного скелета, к которому крепится мускулатура. Так возник наружный хитиновый скелет у членистоногих, внутренний костный скелет у позвоночных.

Подвижность, активное разыскивание пищи немыслимы без элементарного свойства *раздражимости*. Раздражимость свойственна уже одноклеточным. У многоклеточных раздражимость свойственна не всем, а лишь отдельным специализированным клеткам — клеткам нервной системы. Возникновение нервной системы — одно из следствий активной гетеротрофности животных. Переход некоторых групп животных к пассивному питанию, сидячему образу жизни привел к обратному направлению развития — неподвижности, слабой раздражимости и сократимости.

Не случайно, что такие животные (кораллы, мшанки) весьма похожи на растения.

С подвижностью связана и другая важная особенность животных — *отсутствие у клетки животных наружной оболочки*. Наличие в клетках животных нерастворимых в воде твердых запасющих веществ (например, крахмал) препятствовало бы подвижности. Вот почему основным запасющим веществом у животных является легко растворимый полисахарид — гликоген.

Царство животных распадается на два подцарства: простейших (или одноклеточных) и многоклеточных животных (см. форзац в конце книги).

Подцарство простейших (одноклеточных). Морфологически простейшее — клетка, функционально — организм. Отсюда следует двойственность их природы. Функции органов и тканей у простейших несут отдельные участки клеток — органеллы. К простейшим относятся около 15 000 видов, среди которых есть морские, пресноводные, сухопутные и паразитические формы.

Подцарство многоклеточных. Все остальные животные принадлежат подцарству многоклеточных. Напомним, что у растений нет резкой грани между одноклеточностью и многоклеточностью. Многоклеточность неоднократно возникает независимо друг от друга в разных типах растений. У животных, однако, эта грань выражена резко.

Многоклеточные делятся на четыре подраздела, из которых упомянем лишь три: фагоцителловых, предмногоклеточных и настоящих многоклеточных.

Фагоцителловые — новый подраздел многоклеточных, выделенный в 1973 г. советским зоологом А. В. Ивановым. В 1877—1880 гг. выдающийся русский биолог-эволюционист И. И. Мечников выдвинул предположение о том, что общим предком многоклеточных было гипотетическое существо, названное им фагоцителлой. Он предположил, что многоклеточные происходят от колониальных жгутиковых. Питание этого первичного многоклеточного происходит заглатыванием отдельными клетками добычи способом фагоцитоза. Иначе говоря, фагоцителле свойственно внутриклеточное пищеварение. Полостное пищеварение, т. е. появление кишечника, по И. И. Мечникову, характеризует высокоорганизованных многоклеточных.

В 1971 г. немецкий зоолог К. Грелль изучил анатомию мелкого морского многоклеточного трихоплакса и показал, что трихоплакс следует выделить в особый тип. В 1973 г. А. В. Иванов доказал, что трихоплакс очень похож на гипотетическую фагоцителлу И. И. Мечникова, и обосновал необходимость выделения его в новый подраздел. Открытие подраздела фагоцителловых, состоящего из единственного типа пластинчатых, — выдающееся открытие современной биологии. Трихоплакс отличается от всех настоящих многоклеточных тем, что это ползающее по субстрату существо не имеет передней и задней частей тела, оно способно

передвигаться в любом направлении. Однако у трихоплакса есть отличия между клетками брюшной и спинной сторон. Тело трихоплакса сплющено и покрыто жгутиковыми клетками.

У *предмногоклеточных* (к ним относят единственный тип губок) тело состоит из множества клеток. Эти клетки могут выполнять различные функции и иметь разную форму. Однако клетки сходной формы не объединены друг с другом в ткани. Нервная система отсутствует. Клетки одного типа могут превращаться в другой тип клеток.

К типу губок относится около 4500 видов сидячих животных, большинство которых живет в морях.

Настоящие многоклеточные (к ним относят все дальнейшие типы — от кишечнополостных до хордовых) характеризуются объединением клеток различных типов в ткани. Клетки различных типов не могут переходить друг в друга. Есть нервные клетки или нервная система. Настоящие многоклеточные распадаются на два раздела: радиально-симметричных, или двухслойных, животных и двухсторонне-симметричных, или трехслойных, животных.

Отдел Радиальные. Тип Кишечнополостные. К радиально-симметричным животным относят лишь один тип *кишечнополостных*. Клетки у них расположены в два слоя: наружный слой образован эктодермой, внутренний — энтодермой.

В кишечнополостных насчитывается около 9000 видов. Это — гидры, медузы, актинии, кораллы. Несмотря на внешнее разнообразие у кишечнополостных имеются общие черты организации:

- есть замкнутая пищеварительная полость;
- отсутствует заднепроходное отверстие;
- ротовое отверстие окружено радиально расположенными щупальцами;
- большинство кишечнополостных снабжено стрекательными клетками.

В основном эта группа представлена морскими организмами.

Отдел Двухсторонне-симметричные, или Трехслойные. Все остальные типы принадлежат к *двухсторонне-симметричным формам*. Тело их состоит из трех слоев: эктодермы, энтодермы и расположенной между ними мезодермы. Назовем основные типы трехслойных животных.

К типу *плоских червей* (6500 видов) относят ресничных червей, сосальщиков, ленточных червей. Пищеварительная система мешкообразная. Есть отдельные органы (размножения, пищеварения), не объединенные еще в систему органов.

Тип *немертин* (750 видов) объединяет червеобразные морские формы. Появляется заднепроходное отверстие и сквозной пищеварительный тракт. Впервые образуется зачаток системы кровообращения. Таким образом, пищеварение осуществляется одной системой органов, а распределение продуктов по телу — другой. Появляется скопление нервных элементов на головном конце тела. Органы объединены в систему органов.

К типу *круглых червей* (130 000 видов) относят паразитические и свободноживущие организмы. Возможно, что это самый богатый видами тип, число еще не открытых видов оценивается в 300 000—800 000.

У представителей типа *кольчатых червей* (7000 видов) тело расчленено на сегменты. Кровеносная и нервная системы сложнее, чем у немертин. Сюда относят дождевых червей, пиявок, многощетинковых морских червей. От древних кольчатых червей произошли моллюски и членистоногие.

У типа *членистоногих* (1 000 000 видов) хорошо выражена сегментация, тело расчленено на голову, грудь и брюшко. Есть наружный хитиновый скелет. Появляются настоящие конечности, совершенные нервная и кровеносная системы, есть головной мозг и сердце. Образуется поперечно-полосатая мускулатура. Эти животные вышли на сушу и завоевали ее. Типичные представители: трилобиты (жили в палеозое), ракообразные, пауки, скорпионы, клещи, многоножки, насекомые. Для типа *моллюсков* (112 000 видов) характерно то, что сегментация тела у их представителей утеряна. Мягкое тело обычно покрыто известковой раковиной. Типичные представители: двустворчатые моллюски (беззубка, перловица), брюхоногие (улитки, прудовики, катушки, слизни), головоногие (осьминоги, спруты, кальмары). У головоногих очень сложный мозг, заключенный в хрящевую капсулу; глаза по строению сходны с глазами позвоночных, сложная кровеносная система. По организации головоногие моллюски стоят выше насекомых, их психику нередко сравнивают с психикой млекопитающих.

К типу *иглокожих* (4000—5000 видов) относят морских звезд, морских ежей, голотурий, морских лилий. Это — радиально-симметричные животные, но их личинки двухсторонне-симметричные. Названная особенность свидетельствует о том, что радиальная симметрия возникла у них вторично в связи с переходом к сидячему или малоподвижному образу жизни.

По особенностям эмбрионального развития иглокожие, погонофоры, хордовые резко отличаются от других типов и образуют особую ветвь развития.

Тип *погонофоры* (см. рис. 35) насчитывает около 100 видов. Эти морские червеобразные животные отличаются удивительной особенностью — наружным пищеварением. Щупальца выделяют в окружающую среду ферменты, расщепление органических веществ происходит вне тела животного, после чего питательные вещества всасываются поверхностью тела.

К типу *хордовых* (41 000 видов) относят ланцетников, асцидий, круглоротых (миноги), рыб, земноводных, пресмыкающихся, птиц, млекопитающих. У всех, хотя бы в эмбриональном состоянии, имеется опорная спинная струна — хорда; скелет внутренний. У низших позвоночных (акулы, скаты) он хрящевой, затем костный (от костных рыб и выше). Нервная система имеет вид трубки, расположенной со спинной стороны тела.

Прогрессивный характер эволюции. Из краткого обзора основных типов животного царства виден прогрессивный характер эволюции. Каждый новый тип отличается от предыдущего признаками усложнения организации.

Приведем примеры нескольких принципиальных ароморфозов, способствовавших прогрессивному ходу эволюции на каждом из ее этапов: возникновение многоклеточности, развитие двуслойности, а затем и трехслойности клеток, приобретение двухсторонней симметрии, появление сквозной пищеварительной трубки, возникновение кровеносной системы, концентрация органов чувств и нервных элементов на переднем конце тела, возникновение головного мозга, появление скелета, возникновение конечностей и т. д. Хотя следует отметить, что наряду с усложнением организации у некоторых типов (плоские и круглые черви, иглокожие) наблюдаются и признаки упрощения, общей дегенерации, связанной с паразитизмом или малоподвижным образом жизни. Однако основной тенденцией эволюции был морфофизиологический прогресс.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Какие приспособления, связанные с приобретением подвижности, характеризуют животных?
2. Чем отличается клетка одноклеточных от клетки многоклеточных животных?
3. Дайте характеристику подцарству многоклеточных. Каковы его основные подразделения?
4. Докажите, что основной тенденцией эволюции был ароморфоз.

Г л а в а V. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЖИЗНИ И ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Жизнь существует на Земле миллиарды лет. Она заполняет все уголки нашей планеты. Озера, реки, моря, океаны, горы, равнины, пустыни, даже воздух населены живыми существами. Предполагается, что за всю историю жизни на Земле существовало около 4,5 млрд. видов животных и растений. Как возникла и развивалась жизнь на нашей планете? Во все ли эпохи истории Земли растительный и животный мир был таким, как сейчас?

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ВОЗНИКНОВЕНИИ ЖИЗНИ

Биогенез и абиогенез. Проблема происхождения жизни истари приковывала к себе человеческую мысль. С глубокой древ-

ности и до нашего времени было высказано множество гипотез о происхождении жизни на Земле. Однако все их многообразие сводится к двум взаимоисключающим точкам зрения.

Сторонники теории *биогенеза* (от греч. био — *жизнь* и генезис — *происхождение*) полагали, что все живое происходит только от живого. Их противники защищали теорию *абиогенеза* (а — лат. отрицательная приставка); они считали возможным происхождение живого от неживого, т. е. в той или иной мере допускали самозарождение жизни.

От средневековья до Пастера. Борьба сторонников биогенеза и абиогенеза — одна из увлекательнейших страниц в истории науки. Многие ученые средневековья допускали, что рыбы могли зарождаться из ила, черви — из почвы, мыши — из грязи, мухи — из мяса и т. д. Против теории самозарождения в XVII в. выступил флорентийский врач и натуралист Франческо Реди (1626—1698). Положив мясо в закрытый горшок, Ф. Реди обнаружил, что в гнилом мясе личинки мясной мухи не зарождаются самопроизвольно. Но сторонники теории самозарождения не сдавались, они утверждали, что самозарождения личинок не произошло по той лишь причине, что в закрытый горшок не поступал воздух. Тогда Ф. Реди поставил гениальный по своей простоте опыт. Он поместил кусочки мяса в несколько глубоких сосудов. Часть из них оставил открытыми, а часть прикрыл кисеей. Через некоторое время в открытых сосудах мясо кишело личинками мух, тогда как в сосудах, прикрытых кисеей, в гнилом мясе никаких личинок не было.

В XVIII в. теорию самозарождения жизни защищали немецкий математик и философ Г. Лейбниц (1646—1716), французский натуралист Ж. Бюффон (1707—1788), ирландский натуралист, физик, аббат Дж. Нидхэм (1713—1781). Они утверждали, что в живых организмах существует особая «жизненная сила». По мнению виталистов (от лат. вита — *жизнь*), «жизненная сила» присутствует всюду. Достаточно лишь «вдохнуть» ее, и неживое станет живым.

Микроскоп открыл людям микромир. Наблюдения показывали, что в плотно закрытой колбе с мясным бульоном или сенным настоем через некоторое время обнаруживаются микроорганизмы. Дж. Нидхэм прокипятил мясо в закрытом сосуде и через некоторое время обнаружил в бульоне микроорганизмы. Казалось, самозарождение бактерий было доказано.

Но против ирландского аббата выступил итальянский аббат Лаццаро Спалланцани (1729—1799) — натуралист, микроскопист и изобретательный экспериментатор. Прокипятив мясной бульон в течение часа, Спалланцани запаля вытянутое горлышко колбы. В запаянной колбе микроорганизмы не возникали. Виталисты выдвинули предположение, что длительное кипячение убивает «жизненную силу», которая не может проникнуть в запаянную колбу.

Споры между сторонниками абиогенеза и биогенеза продолжались и в первой половине XIX в. Возможность самозарождения допускал Эразм Дарвин — эволюционист, дед Чарлза Дарвина. Даже Ж. Б. Ламарк в 1809 г. писал о возможности самозарождения грибов и некоторых паразитов.

Многократно наблюдавшиеся случаи загнивания предварительно прокипяченных питательных сред вновь давали пищу для представлений о возможности самозарождения. В ту пору не было известно, что некоторые бактерии или их споры выдерживают длительное кипячение.

Споры вокруг самозарождения разгорелись с новой силой в середине XIX в., когда французский медик Пуше в 1859 г. (в год издания дарвиновского «Происхождения видов») опубликовал трактат о самозарождении организмов. Пуше повторил опыты своих предшественников и настаивал на том, что самозарождение микроорганизмов возможно.

Появление книги Ч. Дарвина вновь поставило вопрос о том, как возникла жизнь на Земле. Французская академия наук в 1859 г. назначила специальную премию за попытку осветить по-новому вопрос о самопроизвольном зарождении. Эту премию спустя три года (в 1862 г.) получил знаменитый французский ученый Луи Пастер.

Луи Пастер. Пастер (1822—1895) провел эксперимент, по простоте соперничавший со знаменитым опытом Реди. Он кипятил в колбе различные питательные среды, в которых могли развиваться микроорганизмы. При длительном кипячении в колбе погибали не только микроорганизмы, но и их споры. Помня о возражении виталистов против опытов Спалланцани, что «жизненная сила» не может проникнуть в запаянную колбу, Пастер соединил колбу с наружным воздухом длинной s-образной трубкой. Споры микроорганизмов оседали на внутренней поверхности тонкой изогнутой трубки и не могли проникнуть в питательную среду. Хорошо прокипяченная питательная среда оставалась стерильной, в ней не наблюдалось самозарождения микроорганизмов, хотя доступ воздуха (а с ним и пресловутой «жизненной силы») был обеспечен. Виталистам был нанесен сокрушительный удар.

Гипотезы вечности жизни во Вселенной. Опровержение Л. Пастером теории самопроизвольного зарождения жизни сыграло двоякую роль. С одной стороны, представители идеалистической философии увидели в его опытах лишь непосредственное свидетельство принципиальной невозможности перехода от неорганической материи к живым существам в результате действия только естественных сил природы. Это вполне согласовывалось с их мнением о том, что для возникновения жизни необходимо вмешательство нематериального начала — творца. С другой стороны, некоторые материалистические мыслящие естествоиспытатели лишились теперь возможности использовать явление самозарождения жизни

в качестве главного доказательства своих взглядов. Возникло представление о вечности жизни во Вселенной. Так появилась гипотеза панспермии¹, которую выдвинул немецкий химик Ю. Либих (1803—1873).

Согласно гипотезе панспермии жизнь существует вечно и переносится с планеты на планету метеоритами. Простейшие организмы или их споры («семена жизни»), попадая на новую планету и найдя здесь благоприятные условия, размножаются, давая начало эволюции от простейших форм к сложным. Сторонником гипотезы панспермии был выдающийся отечественный естествоиспытатель В. И. Вернадский (1863—1945).

Особенно активно развивал теорию панспермии шведский физико-химик С. Аррениус (1859—1927). В опытах русского физика П. Н. Лебедева (1866—1912), открывшего давление светового потока, С. Аррениус увидел доказательство возможности переноса спор микроорганизмов с планеты на планету. Жизнь переносится, предполагал он, не в виде микроорганизмов на метеоритах, раскаляющихся при вхождении в плотные слои атмосферы, — сами споры могут перемещаться в мировом пространстве, движимые давлением солнечного света!

В дальнейшем и этот взгляд отвергнут: в условиях космоса зачатки жизни в тех формах, которые известны нам на Земле, по-видимому, не могут существовать, и все попытки обнаружить в космосе какие-либо формы жизни не дали пока положительных результатов. Тем не менее и некоторые современные ученые высказывают гипотезы о внеземном происхождении жизни. Так, американские ученые Ф. Крик и Л. Оргел полагают, что Земля была «засеяна» какими-то разумными существами, обитателями тех планетных систем, развитие жизни на которых опередило нашу Солнечную систему на миллиарды лет. Снарядив ракету и поместив в нее контейнер с простейшими организмами, они запустили ее по направлению к Земле, установив предварительно, что на нашей планете есть необходимые условия для жизни. Разумеется, доказать это нельзя и категорично опровергнуть невозможно.

Теория панспермии уводит нас от решения вопроса о происхождении жизни на Земле: если жизнь возникла не на Земле, то как она возникла вне ее?

Практические выводы из теоретического спора. Споры вокруг проблем возникновения жизни носили сугубо теоретический характер, и эксперименты, которые ставились сторонниками той или иной теории, не преследовали никаких практических целей. Опыты ставились только для того, чтобы подтвердить или отвергнуть определенное теоретическое положение. Но не бывает хороших теорий, из которых не следовали бы важные практические

¹ *Панспермия* — всеобщность распространения по Вселенной «семян жизни» (греч. пан — приставка, обозначающая *общность*; сперма — греч. *семя*).

выводы. Научный спор Спалланцани и Нидхэма натолкнул на мысль о возможности консервации продуктов, а в результате спора Пастера и Пуше возникла пастеризация.

Доказав (1865) микробную основу происхождения инфекционных заболеваний, Л. Пастер тем самым заложил фундамент для создания английским хирургом Дж. Листером теории антисептики, после чего в медицине начала применяться стерилизация ран и хирургических инструментов.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Чем отличаются концепции биогенеза и абиогенеза?
2. Что доказывал опыт Ф. Реди?
3. В чем состоит значение опыта Л. Пастера?
4. К каким практическим достижениям привели теоретические споры по проблеме происхождения жизни?
5. Каково ваше отношение к гипотезе о вечности жизни во Вселенной?
6. Допускает ли идея самозарождения жизни идеалистическую и материалистическую трактовки?
7. Что вам известно о возможности существования жизни на других планетах?

КРИТЕРИИ ЖИВОГО

Живое или неживое? Известно, что живые организмы и тела неживой природы состоят из одних и тех же химических элементов. В клетках живых организмов обнаружено свыше 60 элементов периодической системы. Сходство органического и неорганического мира на атомном уровне указывает на связь и единство живой и неживой природы. И вместе с тем в силу качественного своеобразия живого мы без труда одни тела относим к живым, другие — к неживым.

К свойствам живого обычно относят: обмен веществ, способность к росту, индивидуальному развитию, воспроизведению себе подобных, способность к эволюционному развитию, раздражимость, подвижность. Наличие лишь некоторых из этих свойств не является, однако, достаточным для определения жизни. Ледник или река характеризуются ростом, подвижностью, обменом веществ, развитием, но они не способны к воспроизведению себе подобных. В насыщенных растворах при внесении туда кристалла идет образование новых кристаллов, подобных внесенному. Однако кристаллы нельзя отнести к живым телам, так как, несмотря на способность к воспроизведению, они не могут эволюционировать — форма кристаллов (NaCl) определяется строением их атомов и не может изменяться. Звезды, планеты, звездные системы (галактики) рождаются, стареют и умирают, т. е. эволюционируют, они подвижны и даже могут образовывать новые

звезды, но эти новые образования не будут подобны исходным. С другой стороны, мы не задумываясь к живому относим растения, хотя подвижность многим из них несвойственна. Таким образом, лишь комплекс свойств: раздражимость, обмен веществ, способность к росту, индивидуальному и историческому развитию, воспроизведению себе подобных — может считаться необходимым и достаточным для определения жизни.

Основываясь на важнейших признаках живого, известных науке конца XIX в., Ф. Энгельс дал определение жизни, ставшее классическим: «Жизнь — есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой, причем с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь, что приводит к разложению белка»¹. Это определение намного опередило свое время. Понимая, что наука о сущности жизни делала еще только первые шаги, он писал: «Наша дефиниция² жизни, разумеется, весьма недостаточна, поскольку она далека от того, чтобы охватить все явления жизни»³.

Только в 50-х годах нашего столетия стало ясно, что жизнь связана не только с белками, но и с нуклеиновыми кислотами — носителями наследственной информации.

Исходя из определения жизни Ф. Энгельсом, некоторые ученые были склонны считать живыми уже единичные молекулы белка. Но нельзя согласиться с этой точкой зрения, так как белки не обладают способностью к самовоспроизведению и обмену веществ. Следовательно, образование белка в результате химического процесса не равносильно возникновению жизни.

Свойством воспроизведения себе подобных обладают нуклеиновые кислоты и даже отдельные фрагменты молекулы ДНК. Можно ли их считать носителями жизни? Экспериментально доказано, что самокопирование ДНК и реализация заключенной в ней информации происходит только при наличии ферментов, источников энергии — молекул АТФ, воды и других соединений, а также при условии изоляции реакций от среды и связи с окружающим миром. Очевидно, что отдельные молекулы нуклеиновых кислот тоже не являются живыми.

Критерии жизни. Жизнь — одно из самых сложных, если не самое сложное, явление природы, и очень трудно в рамках одного определения отразить все ее признаки, но, безусловно, важнейшими из них являются *обмен веществ, самовоспроизведение, способность к индивидуальному и историческому развитию.*

Основываясь на данных самых разных отраслей естествознания (молекулярной генетики, биофизики, биохимии и др.),

¹ Маркс К., Энгельс Ф. Соч. — 2-е изд. — Т. 20. — С. 116.

² Дефиниция — краткое определение какого-либо понятия, отражающее существенные признаки предмета или явления.

³ Маркс К., Энгельс Ф. Соч. — 2-е изд. — Т. 20. — С. 84.

наука значительно расширила представления о химическом составе живых тел, выявила ряд новых существенных, неизвестных в конце XIX и начале XX в. свойств жизни. В частности, установлено, что наряду с белками огромную роль в явлениях жизни играют и такие органические молекулы, как нуклеиновые кислоты, жиры, углеводы, фосфорорганические соединения, вода и минеральные вещества. При этом органическим молекулам свойственна *зеркальная изомерия*, т. е. они могут существовать в двух структурных формах, схожих и вместе с тем отличных друг от друга, как левая и правая ладони. Эта особенность молекул существовать в двух зеркальных формах известна в науке под названием *хиральности*. К числу органических веществ, обладающих ею, принадлежат и молекулярные «кирпичики» живого — аминокислоты и сахара, им присуща абсолютная *хиральная чистота*: белки содержат только «левые» аминокислоты, а нуклеиновые кислоты — только «правые» сахара! Это важнейшая черта, отличающая живое от неживого. Неживой природе присуща тенденция к установлению *зеркальной симметрии (рацемизации)* — равновесию между левым и правым.

В результате многочисленных экспериментов выявлено, что белки, состоящие только из левых аминокислот, обладают целым рядом преимуществ перед рацемическими или хирально «грязными»: они достигают значительных размеров и способны образовывать спиральные структуры, играющие важную роль в реализации белковых функций. То же можно сказать и о нуклеиновых кислотах. В рацемическом растворе полинуклеотидная цепочка перестает расти, как только в нее включается нуклеотид с левой (неприродной) формой сахара, причем рост цепи прекращается очень быстро — она содержит не более 3—4 звеньев нуклеотидов.

Эксперименты пролили свет и на связь хиральной чистоты с процессом самоудвоения молекул ДНК и другими реакциями матричного типа, которые не могут начинаться и поддерживаться в рацемической среде. Таким образом, можно утверждать, что жизнь характеризуется не только способностью к самовоспроизведению, основанной на самоудвоении молекул ДНК, но и хиральной чистотой.

Проблема сущности жизни вступила в эпоху нового синтеза идей, который затрагивает почти все современное естествознание. Это неизбежное следствие общего хода развития науки — тенденции к обобщению, тесному взаимодействию самых различных ее областей.

Сегодня доказано, что жизнь связана со сложным коллоидным состоянием цитоплазмы, что она характеризуется обменом веществ и энергии, обусловленным особым способом реализации наследственной информации, заключенной в нуклеиновых кислотах. Живые существа представляют собой открытые системы, т. е. такие системы, в которые энергия поступает извне. Без поступления энергии жизнь существовать не может. В отличие от тел

неорганической природы живые существа способны к саморегуляции — сохранению и поддержанию относительного постоянства своего состава и свойств, самовоспроизведению, индивидуальному и историческому развитию. Поскольку всеми этими свойствами обладает клетка, она и является *элементарной единицей жизни*.

Чтобы наиболее полно определить сущность жизни, необходимо выяснить ее место среди других форм движения материи. Между всеми формами движения материи существует тесная связь, которая проявляется в историческом развитии материи и в возникновении высших форм движения на основе низших. Неживой природе свойственны механическая, физическая, химическая формы движения материи. Живой природе, кроме названных, присущи также биологическая и социальная формы движения. Таким образом, с философской точки зрения жизнь можно определить как систему форм движения материи, возникшую на определенном этапе ее исторического развития.

Соотношение разных форм движения материи впервые осветил Ф. Энгельс. Общая картина возникновения жизни как длительного исторического процесса развития неорганической природы, представленная Ф. Энгельсом, подтверждается исследованиями астрономов, химиков, физиков, биологов, геологов.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. На чем основывался Ф. Энгельс, рассматривая жизнь как способ существования белковых тел?
2. В чем сходство и различие между живым и неживым?
3. Являются ли живыми отдельные молекулы белков и нуклеиновых кислот?
4. Почему мы говорим, что клетка — элементарная единица жизни?
5. Каково место жизни среди других форм движения материи?

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ И УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Абиогенный синтез органических веществ. Результаты блестящих опытов Л. Пастера в 60-х годах XIX в. нанесли взглядом о самопроизвольном зарождении, казалось бы, смертельный удар. Однако в 20—30-х годах XX в. наука вновь вернулась к идее самозарождения с учетом той критики, которой были подвергнуты концепции абиогенеза в XIX в. Самопроизвольное зарождение жизни невозможно в современных условиях, но оно могло осуществиться в давно прошедшее время, когда условия на Земле были иными.

В начале XX в. господствовало убеждение, что лежащие в основе жизни органические вещества (белки, жиры, углеводы) в

природных условиях могут возникать только биогенно, т. е. путем синтеза их самими организмами.

Советский биохимик А. И. Опарин (1894—1980) высказал предположение, что при мощных электрических разрядах в атмосфере Земли, которая 4—4,5 млрд. лет назад состояла из аммиака, метана, углекислого газа и паров воды, могли возникнуть простейшие органические соединения, необходимые для возникновения жизни. Предсказание А. И. Опарина получило широкое признание и было подтверждено экспериментами. Особую известность получили опыты Г. Юри и С. Миллера (1955), проведенные в Чикагском университете. Пропуская электрические разряды напряжением до 60 000 В через смесь углекислого газа (CO_2), метана (CH_4), аммиака (NH_3), водорода (H_2) и паров воды под давлением в несколько паскалей при температуре $+80^\circ\text{C}$, они получили простейшие жирные кислоты, мочевину, уксусную и муравьиную кислоты и несколько аминокислот, в том числе глицин и аланин. Как известно, аминокислоты — это те «кирпичики», из которых построены молекулы белков. Экспериментальное доказательство возможности образования аминокислот из неорганических соединений — чрезвычайно важное указание на то, что первым шагом на пути возникновения жизни на Земле был абиогенный синтез органических веществ (рис. 39).

Прошлое живет в настоящем. Воссоздать картину далекого прошлого нашей планеты помогает и *принцип актуализма*, прочно вошедший в науку благодаря Ч. Лайелю (1797—1875), современнику Ч. Дарвина и его учителю. Ч. Лайель — автор знаменитого труда «Основы геологии, или попытка объяснить древние изменения поверхности Земли действующими сейчас процессами» (1830—1833). Как показывает название книги, ученый полагал, что эволюция земной поверхности, ее развитие до современного состояния обусловлены факторами, которые действуют и сегодня (т. е. актуальными). Иначе говоря, все процессы, идущие сейчас в атмосфере, гидросфере, литосфере, действовали на протяжении всей геологической истории. Даже если окружающий мир в далеком прошлом нашей планеты сильно отличался от современного, законы природы с тех пор не изменились.

Применяя принцип актуализма и опираясь на результаты, полученные в экспериментах по абиогенному синтезу органических веществ, можно выделить несколько этапов неорганической эволюции, предшествовавших образованию и последующему усложнению органических соединений.

Реконструкцию событий, происходивших до возникновения жизни, целесообразно начать с происхождения химических элементов.

Основные этапы неорганической эволюции. Центральные части Солнца и других звезд почти не имеют в составе настоящих химических элементов и образованы в основном из *плазмы*. Плазмой в физике называют полностью ионизированный газ, состоящий

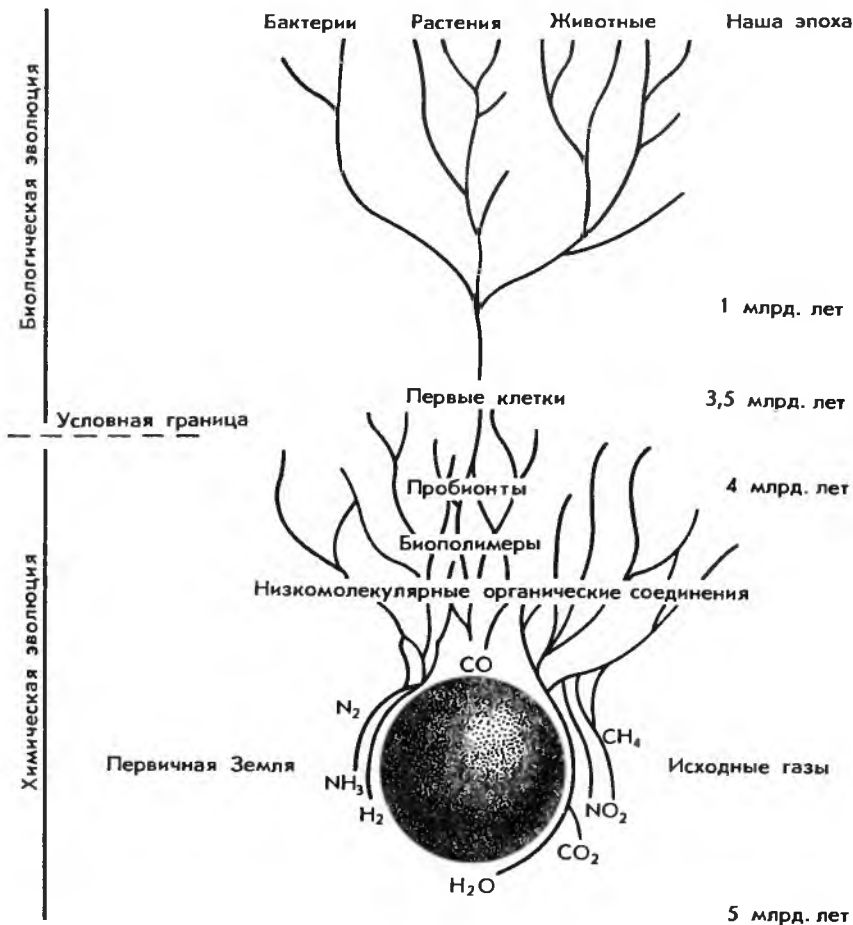


Рис. 39. Схема перехода от химической эволюции к биологической

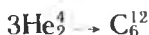
из хаотически движущихся положительно заряженных (атомные ядра) и отрицательно заряженных (электроны) частиц.

Строение вещества звезд определяется степенью ионизации (процентом вещества, находящегося в состоянии плазмы). В центральной части Солнца температура достигает от 3 до 20 млн. градусов. При этой температуре степень ионизации достигает 100%, т. е. все вещества находятся в состоянии плазмы. На глубине, равной 0,1 радиуса Солнца, температура снижается до 400 000 °С, а на поверхности Солнца температура падает до 5500 °С. При этом степень ионизации снижается до 0,01%, т. е. 99,99% веществ на поверхности Солнца находится в виде химических элементов — типичных атомов, имеющих электронные оболочки.

Спектральными анализами на поверхности Солнца обнаружено около 60 химических элементов, среди которых преобладают водород и гелий. Это объясняется тем, что другие элементы с более высокой атомной массой и более сложной структурой атомного ядра и электронной оболочки не могут долго существовать при высокой температуре. Количество атомов водорода в солнечной атмосфере в 4—5 раз больше количества атомов гелия; количество атомов всех других элементов в 1000 раз меньше количества водорода.

В глубинах Солнца и звезд, в плазме происходит образование сложных ядер из простейших вследствие захвата протонов и нейтронов. Образование ядра гелия из водорода идет в три этапа. Из ядра водорода (протона) и нейтрона образуется ядро тяжелого водорода (дейтерия — D) — дейтрон. При соединении дейтрона с еще одним протоном образуется ядро легкого изотопа гелия — He^3 . В результате слияния двух ядер легкого гелия образуется ядро обычного, тяжелого гелия — He^4 и высвобождается два протона.

В ходе термоядерных реакций создаются ядра новых элементов. При соединении трех ядер гелия возникает ядро изотопа углерода:



В результате присоединения к ядру углерода других частиц гелия возникают изотопы кислорода, неона, магния и других элементов. Таким образом, *возникновение атомов химических элементов — начальный этап неорганической эволюции.*

Водород, углерод, кислород, азот, фосфор (так называемые *биогенные элементы*) широко распространены в космосе и имели большую возможность реагировать между собой с *образованием простейших неорганических соединений — следующий этап неорганической эволюции.* Этому способствовало наличие энергии в космосе в виде электромагнитного излучения и тепла, испускаемого звездами. Преобладание водорода, кислорода, азота и фосфора в живых системах не случайно: водород — хороший восстановитель, легко образует с кислородом и азотом водородные связи, имеющие большое значение в образовании биологических структур и для процессов жизнедеятельности. Кислород обладает большой окислительной активностью, а для фосфора характерно образование макроэргических связей, в которых запасается энергия при химических реакциях.

Третий этап химической эволюции — образование простейших органических соединений — связан со специфической валентностью углерода — главного носителя органической жизни, его способностью к соединению почти со всеми элементами, к образованию цепей и циклов, с его каталитической активностью и другими свойствами. Простейшие органические молекулы широко распространены в межзвездной среде.

Происхождение Земли и ее атмосферы. За последние два столетия гипотезы Канта, Лапласа, Мультона, Шмидта, Хойла и других ученых, объясняющие происхождение Земли, сменяли одна другую. Большинство ученых считают, что Земля и другие планеты Солнечной системы возникли при конденсации космического вещества из первичного протопланетного, т. е. существовавшего до образования планет, газопылевого облака. С тех пор вследствие выпадения космической пыли и метеоритов масса Земли увеличилась. Этот процесс, хотя и незаметно, происходит по сей день.

Постепенное уплотнение первично холодного пылевого облака привело к вторичному его разогреванию. Считается, что этот разогрев привел к расплавлению всей массы Земли. Постепенное вторичное охлаждение поверхностных слоев протопланеты обусловило образование твердой оболочки — земной коры. Возраст древнейших участков земной коры оценивается в 3,9 млрд. лет, а само начало образования коры относится к периоду, отстоящему от современности на 4—4,5 млрд. лет.

Уже в этот период существовала первичная атмосфера Земли. В ее состав входили пары воды, метан, аммиак, углекислый газ, водород, к ним примешивались инертные газы — аргон, гелий, криптон, ксенон и выделявшиеся при вулканических извержениях газообразные сероводород, фтористый водород, хлористый водород и др. Однако вследствие того, что масса Земли в этот период была незначительна, легкие газы (водород и гелий) ушли в мировое пространство, а кислород немедленно расходовался на процессы окисления элементов, образовавших нашу планету. Таким образом, первичная атмосфера протопланеты была утрачена.

Постепенно газы, вовлеченные во внутренние слои Земли, начали выделяться, и благодаря им образовалась вторичная, собственно земная, атмосфера. К этому времени накопление космических частиц на Земле, увеличившее массу нашей планеты, дошло до такого уровня, что Земля смогла удерживать газы. В состав вторичной атмосферы нашей планеты входили метан (CH_4), аммиак (NH_3), углекислый газ (CO_2), водород (H_2). Однако в атмосфере Земли не было кислорода и азота — важнейших составных частей современной земной атмосферы, которая, как известно, состоит из азота (N_2), кислорода (O_2), аргона (Ar_2), водорода (H_2), воды (H_2O) и углекислого газа (CO_2). Азот современной атмосферы образовался в результате распада аммиака и выделения газообразного азота при вулканической деятельности. Водород господствует в верхних слоях атмосферы на высотах около 100 км. Вопрос об источниках насыщения земной атмосферы кислородом остается дискуссионным. Многие исследователи считают, что основную роль в этом процессе сыграл фотосинтез зеленых растений. Незначительная часть кислорода могла также образоваться вследствие фотолиза воды под воздействием ультрафиолетовых лучей. Противоречащую распростра-

ненным взглядам точку зрения высказал В. И. Бгатов¹. На основе фактов и доказательств он пришел к заключению о существовании, кроме фотосинтеза, второго мощного источника формирования кислородной атмосферы — глубинного. Кислород образуется в океанических впадинах при извержении базальтов и поступает в океанические воды. Этот процесс мог иметь существенное значение для насыщения атмосферы кислородом на ранних этапах эволюции планеты.

Органическое вещество в межзвездном пространстве. Изложенная схема формирования Земли подтверждается открытиями в области астрохимии и радиоастрономии. На основе спектрального анализа установлено, что необходимые для абиогенного синтеза аминокислот, нуклеотидов простейшие органические соединения широко распространены не только в пределах Солнечной системы, но и во Вселенной. Формальдегид, окись углерода — самые распространенные в межзвездной среде соединения. Метан присутствует в атмосфере Солнца. В атмосфере Юпитера при температуре 140 °С обнаружены водород, гелий, вода, метан, аммиак. Предполагается, что Юпитер может служить естественной моделью для изучения эволюции биологически важных органических соединений.

Современные данные неизбежно приводят к мысли, что планеты, которые достаточно велики и холодны, содержат большое количество разнообразных органических молекул. И это является первым шагом к возникновению более сложно организованной материи. Таким образом, имеются основания предположить, что Земля уже в период формирования получила из космоса значительный запас абиогенных органических соединений. Дальнейший ход эволюции привел к образованию более сложных молекул: аминокислот, нуклеотидов и других главных «кирпичиков жизни». Что касается энергии, то она имела в избытке. Отсутствие озонового экрана позволяло ультрафиолетовым лучам беспрепятственно достигать земной поверхности. Вероятно, абиогенный синтез мономеров происходил в поверхностных слоях океана, воды которого в течение длительного времени насыщались различными органическими соединениями, образуя «первичный бульон».

Нарушение зеркальной симметрии — предпосылка возникновения жизни. Сначала исходная предбиологическая среда обладала зеркальной симметрией, т. е. содержала равное количество правых и левых изомеров. Это подтверждается 30-летними экспериментами, моделирующими синтез аминокислот и сахаров в условиях, соответствующих первичной Земле. В этих экспериментах синтезируется равное количество и левых и правых изомеров. Затем под влиянием внешних воздействий или в силу дей-

¹ См.: Богатов В. И. История кислорода земной атмосферы. — М.: Недра, 1985. — С. 86.

ствия каких-либо иных причин происходит нарушение зеркальной симметрии в «первичном бульоне» и формирование хирально чистой органической среды: остались только левые аминокислоты и правые сахара. Этот этап исключительно важен — он отправная точка для последующей химической эволюции, так как образование даже сравнительно коротких цепочек белков и нуклеиновых кислот могло идти только в хирально чистой среде.

Абиогенный синтез полимеров. Как осуществлялся на Земле следующий этап химической эволюции — синтез биологических полимеров: белков и нуклеиновых кислот? И здесь на помощь приходит новый цикл экспериментов, связанный с такими химическими реакциями, как полимеризация, конденсация, дегидратация. Чтобы лучше понять их сущность, вспомним, что аминокислоты объединяются в полипептидную цепь благодаря образованию молекул воды из карбоксильной группы одной аминокислоты и аминогруппы соседей аминокислоты. В основе механизма образования более крупных молекул лежит удаление молекул воды путем нагревания. В водной среде это невозможно, поэтому, вопреки принятой прежде гипотезе о сплошной водной оболочке первичной Земли, новейшие данные геохимии, геологии все больше подтверждают мнение, что формирование биополимеров происходило не в открытом океане, а в пересыхающих морских лагунах. Адсорбируясь на илистом дне лагун, различные мономеры подвергались полимеризации, конденсации, дегидратации под воздействием энергии Солнца. Образующиеся полимеры смывались волнами океана, обогащая «первичный бульон».

Абиогенный синтез белков и нуклеиновых кислот в общих чертах воспроизведен в лабораторных условиях. Так, американский ученый С. Фокс в 1953 г. не только синтезировал почти все аминокислоты, но и на основе полимеризации получил белковоподобные вещества, которые расщеплялись ферментами и сами обладали слабой каталитической активностью. Через абиогенный синтез он получил и моонуклеотиды, нагревание которых в присутствии полифосфорной кислоты (конденсирующего агента) привело к образованию коротких цепочек нуклеиновых кислот.

Список экспериментальных исследований можно продолжить. Основные их результаты показывают, что белковоподобные вещества и простейшие нуклеиновые кислоты могли возникнуть в сравнительно простых условиях первичной Земли. Таким образом, химическая эволюция — закономерный естественный процесс, закладывающий основы жизни.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. В чем сущность основных методов исследования проблемы происхождения жизни на Земле?
2. Какими были условия на первичной Земле?

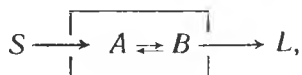
3. Могли ли простейшие органические соединения образоваться в космосе и попасть на первичную Землю?
4. Изобразите схематично основные этапы химической эволюции. Дайте пояснения.
5. Основываясь на данных нижеприведенной таблицы и знаниях по химии, ответьте:
 - случайно ли живое возникло на основе атомов углерода, водорода, кислорода, азота, фосфора?
 - почему атомы углерода играют главную роль в образовании органических молекул, входящих в состав живого?

Относительное содержание атомов некоторых элементов в доступной для изучения части Вселенной¹
(С. Фокс, К. Дозе)

Элемент	Относительное содержание	Элемент	Относительное содержание
C	1	Mg	0,29
H	9200	Si	0,27
He	369	S	0,11
N	2,2	P	0,001
O	3,7		

НА ПУТИ К ВОЗНИКНОВЕНИЮ ПЕРВИЧНЫХ ОРГАНИЗМОВ

Пробионты и их дальнейшая эволюция. Как осуществлялся переход от биополимеров к первым живым существам? Это наиболее трудная часть проблемы возникновения жизни. Ученые пытаются найти ее решение также на основе модельных экспериментов. Наибольшую известность получили опыты А. И. Опарина и его сотрудников. Приступая к работе, А. И. Опарин предположил, что переход от химической эволюции к биологической связан с возникновением простейших фазовообособленных органических систем — пробионтов, способных использовать из окружающей среды вещества и энергию и на этой основе осуществлять важнейшие жизненные функции — расти и подвергаться естественному отбору. Такой системой является открытая система, которая может быть изображена следующей схемой:



¹ Содержание атомов углерода условно принято за единицу.

где S и L — внешняя среда, A — поступающее в систему вещество, B — продукт реакции, способный диффундировать во внешнюю среду.

Наиболее перспективным объектом для моделирования подобной системы могут служить коацерватные капли. А. И. Опарин наблюдал, как в коллоидных растворах полипептидов, полисахаридов, РНК и других высокомолекулярных соединений при определенных условиях образуются сгустки объемом от 10^{-8} до 10^{-6} см³. Эти сгустки и называются *коацерватными каплями* или коацерватами. Вокруг капель имеется граница раздела, хорошо видимая в микроскоп. *Коацерваты* способны адсорбировать различные вещества. В них осмотически могут поступать из окружающей среды химические соединения и идти синтез новых соединений. Под действием механических сил коацерватные капли дробятся. Но коацерваты — еще не живые существа. Это лишь простейшие модели пробионтов, проявляющие лишь внешнее сходство с такими свойствами живого, как рост и обмен веществ с окружающей средой.

Особое значение в эволюции пробионтов сыграло формирование каталитических систем. Первыми катализаторами были простейшие соединения, соли железа, меди, других тяжелых металлов, но их действие было очень слабым. Постепенно на основе предбиологического отбора эволюционно формировались биологические катализаторы. Из огромного количества химических соединений, присутствующих в «первичном бульоне», отбирались наиболее эффективные в каталитическом отношении комбинации молекул. На определенном этапе эволюции простые катализаторы были заменены ферментами. Ферменты контролируют строго определенные реакции, и это имело огромное значение для совершенствования процесса обмена веществ.

Подлинное начало биологической эволюции ознаменовано возникновением пробионтов с кодовыми отношениями между белками и нуклеиновыми кислотами. Взаимодействие белков и нуклеиновых кислот обусловило возникновение таких свойств живого, как самовоспроизведение, сохранение наследственной информации и ее передача последующим поколениям. Вероятно, на более ранних этапах преджизни существовали независимые друг от друга молекулярные системы полипептидов и полинуклеидов с весьма несовершенным обменом веществ и механизмом самовоспроизведения. Огромный шаг вперед был сделан именно в тот момент, когда произошло их объединение: способность к самовоспроизводству нуклеиновых кислот дополнилась каталитической активностью белков. Пробионты, в которых обмен веществ сочетался со способностью к самовоспроизведению, имели наилучшую перспективу сохраниться в предбиологическом отборе. Дальнейшее их развитие уже полностью приобрело черты биологической эволюции, которая и осуществлялась на протяжении не менее чем 3,5 млрд. лет.

Мы изложили подновленную, с учетом данных последних деся-

тилетий, концепцию постепенного перехода от химической к биологической эволюции, которая связана с идеями А. И. Опарина. Однако эти идеи не общеприняты. Существуют взгляды генетиков, согласно которым жизнь началась с возникновения самовоспроизводящихся молекул нуклеиновых кислот. Следующим этапом было установление связей между ДНК и РНК и способность РНК синтезироваться на матрице ДНК. Установление связи ДНК и РНК с возникшими в результате абиогенного синтеза молекулами белков есть третий этап эволюции жизни.

У истоков жизни. Трудно сказать, каковы были первые исходные для всего живого формы организмов. По-видимому, возникая в различных частях планеты, они отличались друг от друга. Все они развивались в анаэробной среде, используя для своего роста готовые органические соединения, синтезированные в ходе химической эволюции, т. е. были *гетеротрофами*. По мере того как происходило объединение «первичного бульона», стали возникать другие способы обмена, основанные на использовании энергии химических реакций для синтеза органических веществ. Это — *хемоавтотрофы* (железобактерии, серобактерии). Следующим этапом на заре жизни было возникновение *процесса фотосинтеза*, который существенно изменил состав атмосферы: из восстановительной она превратилась в окислительную. Благодаря этому стало возможным кислородное расщепление органических веществ, при котором получается во много раз больше энергии, чем при бескислородном. Таким образом, жизнь перешла к аэробному существованию и могла выйти на сушу.

Первые клетки — *прокариоты* — не имели обособленного ядра. Позже, в процессе эволюции, под воздействием естественного отбора клетки совершенствуются. Вслед за прокариотами появляются *эукариоты* — клетки, содержащие обособленное ядро. Затем возникают специализированные клетки высших многоклеточных.

Среда возникновения жизни. Основным компонентом живого — вода. В связи с этим можно предположить, что жизнь возникла в водной среде. В пользу этой гипотезы свидетельствует сходство солевого состава морской воды и крови некоторых морских животных (табл.),

Т а б л и ц а

Концентрация ионов в морской воде и крови некоторых морских животных (концентрация натрия условно принята за 100%)

Среда	Катионы				Анионы	
	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl	SO ₄ ⁻
Морская вода	100	3,61	3,91	12,1	181	20,9
Медуза	100	5,18	4,13	11,4	186	13,2
Мечехвост	100	5,61	4,06	11,2	187	13,4
Треска	100	9,5	3,93	14,1	150	—

а также зависимость ранних стадий развития многих организмов от водной среды, значительное разнообразие и богатство морской фауны по сравнению с сухопутной.

Широко распространена точка зрения, согласно которой наиболее благоприятной средой для возникновения жизни были прибрежные районы морей и океанов. Здесь, на стыке моря, суши, воздуха, создавались благоприятные условия для образования сложных органических соединений, необходимых для возникновения жизни.

В последние годы внимание ученых привлекают вулканические области Земли как один из возможных источников зарождения жизни. При извержении вулканов выделяется огромное количество газов, состав которых во многом совпадает с составом газов, образовавших первичную атмосферу Земли. Кроме того, высокая температура способствует протеканию реакций.

В 1977 г. в океанических желобах обнаружены так называемые «черные курильщики». На глубине в несколько тысяч метров при давлении в сотни атмосфер из «трубок» выходит вода с температурой $+200$... $+300$ °C, обогащенная газами, свойственными вулканическим областям. Вокруг трубок «черных курильщиков» открыты многие десятки новых родов, семейств и даже классов животных. Крайне разнообразно представлены здесь и микроорганизмы, среди которых преобладают серобактерии. Быть может, жизнь зародилась в глубинах океана в резко контрастных условиях перепада температур (от $+200$ до $+4$ °C)? Какая жизнь была первичной — водная или сухопутная? Ответы на эти вопросы предстоит дать науке будущего.

Возможно ли возникновение жизни на Земле сейчас? Процесс возникновения живых организмов из простых органических соединений был чрезвычайно длительным. Чтобы на Земле вспыхнула жизнь, понадобился длившийся много миллионов лет эволюционный процесс, в течение которого пробионты испытали длительный отбор на устойчивость, на способность к воспроизведению себе подобных, на образование ферментов, контролирующих все химические процессы в живом. Стадия преджизни была, по-видимому, длительной. Если сейчас на Земле где-нибудь в районах интенсивной вулканической деятельности и могут возникнуть достаточно сложные органические соединения, то вероятность сколько-нибудь длительного существования этих соединений ничтожна. Они сейчас же будут использованы гетеротрофными организмами. Это понимал еще Ч. Дарвин, который в 1871 г. писал: «Но если бы сейчас (ах какое большое если!) в каком-либо теплом водоеме, содержащем все необходимые соли аммония и фосфора и доступном воздействию света, тепла, электричества и т. п., химически образовался белок, способный к дальнейшим все более сложным превращениям, то это вещество немедленно было бы разрушено или поглощено, что было невозможно в период до возникновения живых существ».

Таким образом, современные знания о происхождении жизни на Земле приводят к следующим выводам:

— Жизнь возникла на Земле абиогенным путем. Биологической эволюции предшествовала длительная химическая эволюция.

— Возникновение жизни — это этап эволюции материи во Вселенной.

— Закономерность основных этапов возникновения жизни может быть проверена экспериментально в лаборатории и выражена в виде следующей схемы: атомы —> простые молекулы —> макромолекулы —> ультрамолекулярные системы (пробионты) —> одноклеточные организмы.

— Первичная атмосфера Земли имела восстановительный характер. В силу этого первые организмы были гетеротрофами.

— Дарвиновские принципы естественного отбора и выживания наиболее приспособленных можно перенести на предбиологические системы.

— В настоящее время живое происходит только от живого (биогенно). Возможность повторного возникновения жизни на Земле исключена.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. На основании сравнительной характеристики коацерватных капель и живых организмов докажите, что жизнь на Земле могла возникнуть абиогенным путем.
2. Почему повторное возникновение жизни на Земле невозможно?
3. Среди ныне существующих организмов примитивнейшими являются микоплазмы. По размерам они меньше некоторых вирусов. Однако в такой крошечной клетке имеется полный набор жизненно важных молекул: ДНК, РНК, белки, ферменты, АТФ, углеводы, липиды и др. Микоплазмы не имеют никаких органоидов, кроме внешней мембраны и рибосом. О чем говорит факт существования таких организмов?

ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ И МЕТОДЫ ЕЕ ИЗУЧЕНИЯ

Картину эволюционного процесса от его начала до наших дней воссоздает наука о древней жизни — *палеонтология*. Ученые-палеонтологи прослеживают отдаленные во времени эпохи по окаменевшим остаткам организмов прошлого, сохранившимся в земных пластах. Геологические пласты поэтому можно образно назвать страницами и главами каменной летописи истории Земли. Но можно ли точно определить их возраст, а вместе с тем и возраст ископаемых организмов, заключенных в этих пластах?

Методы геохронологии. Существуют разнообразные методы определения возраста ископаемых остатков и слоев горных пород. Все они делятся на относительные и абсолютные. Методы *относительной геохронологии* исходят из представления о том, что более

поверхностный пласт всегда моложе лежащего под ним. Учитывается и тот факт, что для каждой геологической эпохи характерен свой определенный облик — специфический набор животных и растений. На основании изучения последовательности напластования слоев геологического разреза составляется схема расположения слоев (*стратиграфическая схема*) данного района. Палеонтологические данные позволяют выявить одинаковые или близкие виды в слоях различных геологических разрезов разных стран и континентов. На основании сходства ископаемых форм делается вывод о синхронности слоев, содержащих так называемые руководящие ископаемые, т. е. об их принадлежности к одному и тому же времени.

Методы *абсолютной геохронологии* основываются на естественной радиоактивности некоторых химических элементов. Впервые предложил использовать это явление как эталон времени Пьер Кюри (1859—1906). Строгое постоянство скорости радиоактивного распада привело к мысли о разработке единой точной хронологической шкалы истории Земли. Позже этот вопрос разрабатывали Э. Резерфорд (1871—1937) и другие ученые.

Для определения абсолютного возраста используют «долгоживущие» радиоактивные изотопы, пригодные для изучения возраста древнейших слоев Земли. Скорость распада радиоактивного изотопа выражается периодом полураспада. Это время, в течение которого любое исходное количество атомов уменьшается вдвое. Зная период полураспада соответствующего изотопа и измерив соотношение количества радиоактивного изотопа и продуктов его распада, можно определить возраст той или иной породы. Например, период полураспада урана-238 равен 4,498 млрд. лет. Килограмм урана, в каких бы горных породах он ни залегал, через 100 млн. лет дает 13 г свинца и 2 г гелия. Следовательно, чем больше в горной породе уранового свинца, тем она и пласт, ее включающий, древнее. Таков принцип действия «радиоактивных часов». Рассмотренный пример иллюстрирует старейший метод изотопной геохронологии — свинцовый. Он назван так потому, что возраст пород определяется по накоплению свинца при распаде урана и тория. В результате радиоактивного распада урана-238 возникает свинец-206, уран-235, свинец-207 и при распаде тория-232 — свинец-208.

В зависимости от конечного продукта радиоактивного распада разработаны и другие методы изотопной геохронологии: гелиевый, углеродный, калий-аргоновый.

Для определения геологического возраста до 50 тыс. лет широко применяется радиоуглеродный метод. Он основан на том, что под действием космической радиации в атмосфере Земли азот превращается в радиоактивный изотоп углерода ^{14}C , с периодом полураспада 5750 лет. В живых организмах вследствие постоянного обмена со средой концентрация радиоактивного изотопа углерода постоянна, тогда как после смерти и прекращения обмена

веществ радиоактивный изотоп ^{14}C начинает разлагаться. Зная период полураспада, можно весьма точно определить возраст органических остатков: угля, веток, торфа, костей. Этим методом датируются эпохи оледенения, этапы древней человеческой цивилизации и т. д.

В последние годы успешно разрабатывается дендрохронологический метод. Изучив влияние погодных условий на прирост годовичных колец на древесине, биологи выяснили, что чередование колец низкого и высокого прироста дает неповторимую картину. Составив усредненную кривую приростов древесины для каждого района, можно с точностью до года датировать любой кусок древесины. Таким образом, например, советские археологи точно датируют возраст древесины, использовавшейся на строительство древнего Новгорода.

Подобно годовичным кольцам деревьев, отражают суточные, сезонные и годовые циклы линии роста кораллов. У этих морских беспозвоночных внешняя часть скелета покрыта тонким известковым слоем, называемым *эпитекой*. При хорошей сохранности на эпитеке видны четкие кольца — результат периодического изменения скорости отложения карбоната кальция. Эти образования группируются в пояса. Американский палеонтолог Дж. Уэлс доказал (1963), что кольцевые линии и пояса на эпитеке кораллов представляют собой суточные и годовые образования. Исследуя современные виды рифообразующих кораллов, он насчитал в их годовом поясе около 360 линий, т. е. каждая линия соответствовала приросту за один день. Интересно, что у кораллов, живших примерно 370 млн. лет назад, в годовом поясе насчитывается от 385 до 399 линий. На основании этого Дж. Уэлс пришел к заключению, что количество дней в году в то далекое геологическое время было больше, чем в нашу эпоху. Действительно, как показывают астрономические вычисления и палеонтологические данные, Земля вращалась быстрее и продолжительность суток поэтому составляла примерно 22 часа. Зная последовательность появления тех или иных организмов и возраст различных слоев земной коры, ученые в общих чертах составили хронологию истории нашей планеты и описали развитие жизни на ней.

Календарь истории Земли. История Земли разделяется на длительные промежутки времени — *эры*. Эры подразделяются на *периоды*, периоды — на *эпохи*, эпохи — на *века*. (Календарь истории Земли представлен на таблице.)

Разделение на эры и периоды не случайно. Окончание одной эры и начало другой знаменовалось существенными преобразованиями лика Земли, изменением соотношений суши и моря, интенсивными горообразовательными процессами.

Названия эр греческого происхождения: *катархей* — ниже древнейшего, *архей* — древнейший, *протерозой* — первичная жизнь, *палеозой* — древняя жизнь, *мезозой* — средняя жизнь, *кайнозой* — новая жизнь (рис. 40).



Рис. 40. История развития жизни на Земле

Геохронологическая таблица

Эра	Период	Век	Продолжительность (в млн лет)	Время от начала до наших дней (в млн. лет)
Кайнозой	Четвертичный	Голоцен	0,02	0,02
		Плейстоцен	1,5	1,5
	Третичный неоген	Плиоцен	11	

	палеоген	Миоцен Олигоцен Эоцен Палеоцен	14 11 23 7	26,5 67
	Мел	Поздний Ранний	70	137
	Юра	Поздняя Ранняя	58	195
Мезозой	Триас	Поздний Средний Ранний	35 45	230—240
	Пермь	Поздняя Ранняя	45—50	285
	Карбон	Поздний Средний Ранний	55—75	350—370
	Девон	Поздний Средний Ранний	60	410
	Силур	Поздний Ранний	30	410
Палеозой	Ордовик	Поздний Средний Ранний	60	500
	Кембрий	Поздний Средний	70	570
	Поздний протерозой	Венд	110	
	Рифей	Поздний Средний Ранний	320 350 250	1600
Протерозой		Средний протерозой	300	1900
		Ранний протерозой	600	2500
Архей			1100—1400	3500—3800
Катархей			≈ 100	≈ 3900

1. В чем сущность основных методов датирования горных пород и ископаемых остатков организмов?
2. Каков принцип действия «радиоактивных часов»?
3. Что представляет собой календарь истории Земли?

РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ В ДОКЕМБРИИ

Еще недавно палеонтологи могли углубиться в историю жизни лишь на 500—570 млн. лет и счет палеонтологической летописи начинался с кембрийского периода. В докембрийских отложениях долгое время не удавалось обнаружить остатки организмов. Но если иметь в виду, что 7/8 геологической истории Земли занимает докембрий, то понятно быстрое развитие в последние годы палеонтологии.

Архей. Палеонтологические данные древнейших осадочных пластов свидетельствуют, что доорганизменный этап эволюции продолжался 1,5—1,6 млрд. лет после образования Земли как планеты. Катархей был «спектаклем без зрителей». Жизнь возникла на грани катархея и архея. Об этом свидетельствуют находки остатков микроорганизмов в ранних архейских породах возрастом 3,5—3,8 млрд. лет. О жизни в архее известно немного. Горные породы архея содержат большое количество графита. Считается, что графит происходит из остатков органических соединений, входивших в состав живых организмов. Это были клеточные *прокариоты* — бактерии и сине-зеленые. Продуктами жизнедеятельности этих примитивных микроорганизмов являются и древнейшие осадочные породы (строматолиты) — известковые образования в виде столбов, обнаруженные в Канаде, Австралии, Африке, на Урале и в Сибири. Бактериальную основу имеют осадочные породы железа, никеля, марганца. До 90% мировых запасов серы возникли в результате жизнедеятельности серобактерий. Многие микроорганизмы — активные участники формирования колоссальных, пока еще мало разведанных ресурсов полезных ископаемых на дне Мирового океана. Там обнаружены залежи железа, марганца, меди, никеля, кобальта. Велика роль микроорганизмов и в образовании горючих сланцев, нефти и газа.

Сине-зеленые, бактерии быстро распространяются в архее и становятся хозяевами планеты. Эти организмы не имели обособленного ядра, но обладали развитой системой обмена веществ, способностью к размножению. Сине-зеленые, кроме того, обладали аппаратом фотосинтеза. Появление последнего было крупнейшим ароморфозом в эволюции живой природы и открыло один из путей (вероятно, специфически земной) образования свободного кислорода.

К концу архея (2,8—3 млрд. лет назад) появляются первые

колонияльные водоросли, окаменевшие остатки которых найдены в Австралии, Африке, Советском Союзе.

Палеонтологические исследования будут постепенно дополнять картину жизни на ранних этапах ее эволюции. Пока же хронология того далекого времени очерчена лишь схематично. Каменная летопись уже началась, но следы «письменности» еще очень редки.

Гипотеза озонового экрана. Важнейший этап развития жизни на Земле тесно связан с изменением концентрации кислорода в атмосфере, становлением озонового экрана. Это предположение высказывали американские ученые Г. Беркнер и Л. Маршалл в конце 60-х годов нашего века. Ныне оно подтверждается данными биогеохимии и палеонтологии. Благодаря жизнедеятельности сине-зеленых содержание свободного кислорода в атмосфере заметно возросло. Достижение так называемой «ластеровской точки» концентрации кислорода — 1% от его концентрации в современной атмосфере — создало предпосылки для проявления аэробного механизма диссимиляции — дыхания. До этого господствовали анаэробные (бескислородные) процессы. Возникновение дыхания было крупным ароморфозом, в результате которого во много раз увеличилось освобождение энергии для процессов жизнедеятельности.

Накопление кислорода привело к возникновению первичного озонового экрана в верхних слоях биосферы, который открыл необъятные горизонты для расцвета жизни, так как препятствовал проникновению на Землю губительных ультрафиолетовых лучей.

Появление озонового экрана и переход от анаэробных процессов к дыханию совершается в венде — наиболее позднем этапе протерозоя и приводит к развитию фотосинтезирующих организмов — *автотрофов* в богатых солнечной энергией верхних слоях океана. В свою очередь, накопление автотрофными организмами в результате фотосинтеза органических соединений создало условия для эволюции их потребителей — *гетеротрофных организмов*.

В палеозое, на грани силура и девона, содержание кислорода в атмосфере достигло 10% от его современной концентрации. К этому времени мощность озонового экрана выросла настолько, что сделала возможным выход живых организмов на сушу.

К концу палеозоя, в перми, концентрация кислорода в атмосфере достигла современного уровня.

Протерозой. Протерозой — огромный по продолжительности этап исторического развития Земли. В течение его бактерии и водоросли достигают исключительного расцвета, с их участием интенсивно шли процессы отложения осадков. В результате жизнедеятельности железобактерий в протерозое образовались крупнейшие железорудные месторождения (курские и криворожские руды, месторождения железа близ Кируны в Швеции и др.).

На рубеже раннего и среднего рифея (около 1,35 млрд. лет назад) господство прокариот сменяется расцветом эукариот — зе-

ленных и золотистых водорослей. Из одноклеточных эукариот за короткое (в геологическом смысле) время развиваются многоклеточные со сложной организацией и специализацией. Древнейшие представители многоклеточных животных известны с позднего рифея (700—600 млн. лет назад).

В 1947 г. в Южной Австралии, в области Эдиакара, австралийский геолог Р. Спрингг сделал открытие, ставшее поворотным в развитии знаний о древней жизни. В пластах возрастом 650—700 млн. лет он обнаружил отпечатки ископаемых животных, относящихся в основном к трем типам: кишечноротовым, круглым и кольчатым червям. Примечательно, что эти древнейшие обитатели Земли оказались бесскелетными. Быть может, в то время не существовало еще сколько-нибудь опасных хищников, от которых нужно было спасаться под хитиновым или известковым панцирем. Поэтому вследствие эволюции еще не появились раковины, скелеты, но уже возникли половое размножение, многоклеточность и внутренний пищеварительный тракт. Именно отсутствием скелета объясняется загадка крайне редкого нахождения древних организмов в докембрийских породах. Сходная с эдиакарской фауна обнаружена в докембрийских отложениях на Украине, в Сибири, Англии, Юго-Западной Африке. Наиболее известны месторождения этой фауны на побережье Белого моря. Большой вклад в изучение докембрия внесли исследования академика Б. С. Соколова. По его предложению был выделен особый период развития Земли — венд (конец докембрия), названный так по имени славянского племени вендов.

Теперь мы можем утверждать, что 650 млн. лет назад земные моря населяли разнообразные многоклеточные: одиночные и колониальные полипы и медузы, плоские черви и даже предки современных кольчатых червей, членистоногих, моллюсков и иглокожих. Некоторые формы ископаемых животных сейчас трудно отнести к известным классам и типам. Среди растительных организмов в то время преобладали одноклеточные, но появляются и многоклеточные водоросли (зеленые, бурые, красные), грибы.

Итак, в течение протерозоя господство прокариот сменилось господством эукариот. Эволюционный ствол древнейших кариот под влиянием движущих сил эволюции разделился на несколько ветвей, от которых возникли многоклеточные растения, грибы, многоклеточные животные. Последующая дивергенция в животном мире привела уже в начале кембрия к формированию всех главных типов беспозвоночных животных. Докембрий явился, таким образом, прологом к достижению огромного разнообразия жизни в последующие три эры: палеозойскую, мезозойскую, кайнозойскую.

Жизнь стала *геологическим фактором* — живые организмы меняли форму и состав земной коры, формировали ее верхний слой — *биосферу*. Результатом жизнедеятельности организмов является образование подавляющего большинства полезных ископаемых.

1. Какие крупнейшие ароморфозы произошли в архее и протерозое? Какое значение для развития жизни на Земле они имели?
2. Как деятельность живых организмов повлияла на изменение геологических оболочек Земли?
3. Какое значение для развития жизни на Земле имело возникновение фотосинтеза?

ГИПОТЕЗА ДРЕЙФА КОНТИНЕНТОВ

Гипотеза континентального дрейфа, т. е. перемещения материков на поверхности Земли, была выдвинута в начале нашего века немецким геофизиком А. Вегенером. Она объясняет многие особенности распространения организмов в палеозое и мезозое.

Какой была Гондвана? Согласно концепции *мобилизма* (от лат. мобиле — *подвижный*) еще 200 млн. лет назад все материки южного полушария и Индостан были единым гигантским континентом. Площадь его равнялась половине современной суши, а контур напоминал тюльпан. Потом этот материк раскололся и образовались современные материки.

Сейчас трудно представить, что ледяная Антарктида и знойная Африка были соединены воедино, что на их территории были распространены одни и те же растения, обитали одинаковые виды животных. Но получено много фактических данных, подтверждающих, что единый южный суперконтинент — Гондвана — действительно существовал и из него впоследствии образовались Антарктида, Южная Америка, Африка, Аравия, Австралия, Индостан.

В 1912 г. А. Вегенер обратил внимание на поразительное совпадение очертаний атлантических берегов Африки и Южной Америки. В конце 50-х годов методами палеомагнитного анализа было установлено, что магнитные свойства теряются при высокой температуре. В момент извержения застывающая лава намагничивается и показывает тем самым положение магнитных полюсов. Зная возраст изверженных пород, можно определить по двум точкам положение магнитного полюса Земли в данное время. Оказалось, что положение магнитного полюса для большей части Евразии всегда постоянно для данного периода времени, тогда как Африка, Австралия, Индостан показывают иное положение магнитных полюсов.

Еще более впечатляющим оказалось сходство геологического строения Антарктиды, других южных материков и Индостана. Самые крупные горные хребты в Антарктиде наполовину сложены чарноитами (разновидность гранита). Резко очерченные скалы чарноитов издали напоминают развалины замков, они образовались еще в архейско-протерозойское время. Чарноиты были обна-

ружены в Индостане еще в конце прошлого столетия, они часто встречаются в Африке и Австралии.

Одно из самых убедительных доказательств существования Гондваны — удивительное сходство преобладающих видов растений и животных для всех гондванских материков, тогда как флора и фауна материков северного полушария имели свои специфические особенности. Например, остатки скелетов древнейших наземных позвоночных — листрозаурусов, обитателей тропиков и субтропиков, обнаружены в Африке, Индостане. Для Южной Африки листрозаурус настолько характерен, что отложения, в которых найдены его кости, получили специальное обозначение — «зона листрозауруса». В 1970 г. остатки этих тропических животных обнаружены в Антарктиде. Это дает основание считать, что 200—240 млн. лет назад Антарктида располагалась на значительно более низких широтах, чем в настоящее время, что соответствует ее центральному положению в древнем суперконтиненте — Гондване. Итак, можно предположить, что фауна и флора позднего палеозоя и мезозоя распространялись по материкам Гондваны как по единому континенту.

Южноафриканский геолог Дю Тойт, последователь А. Вегенера, допускал существование не одного, а двух праматериков: Лавразии (в нее входили Северная Америка, Азия (без Аравии и Индостана), Европа) и Гондваны. Оба материка имели, по его мнению, одинаковые размеры и почти одинаковую форму и были разделены древним океаном — Тетисом. Оба суперконтинента самостоятельно перемещались.

Раскол Гондваны. По мнению палеомагнитологов, полюсы Земли постоянны с момента превращения нашей планеты в твердое тело, так как оси вращения и масса Земли остаются неизменными. Значит, движутся материки. Дрейф материков ученые связывают с движением и постоянным обновлением дна океанов, образованием океанических хребтов и глубоких океанических желобов.

Скорость движения дна в среднем 4—6 см за год. Даже при таких малых скоростях за 150 млн. лет Южная Америка могла отодвинуться от Африки более чем на 5000 км, что и наблюдается в действительности.

Первый раскол Гондваны, если судить по геологическим данным, произошел на границе триаса и юры (150—195 млн. лет назад). От Гондваны отошел единый Африкано-Южноамериканский блок, начал дрейфовать Индостан (рис. 41).

Второе важнейшее событие в истории Гондваны совершилось на границе юры и мела. Африкано-Южноамериканский блок раскололся на две части. Африка и Южная Америка начали медленно сближаться к своему современному положению.

Третий этап начался в конце мела — начале палеогена (65—70 млн. лет назад). Индостан подошел вплотную к Южной Азии, и его давление вызвало поднятие Гималаев, Тибета, Памира. (Это поднятие гор идет и в наши дни.) Австралия отделилась от Ан-

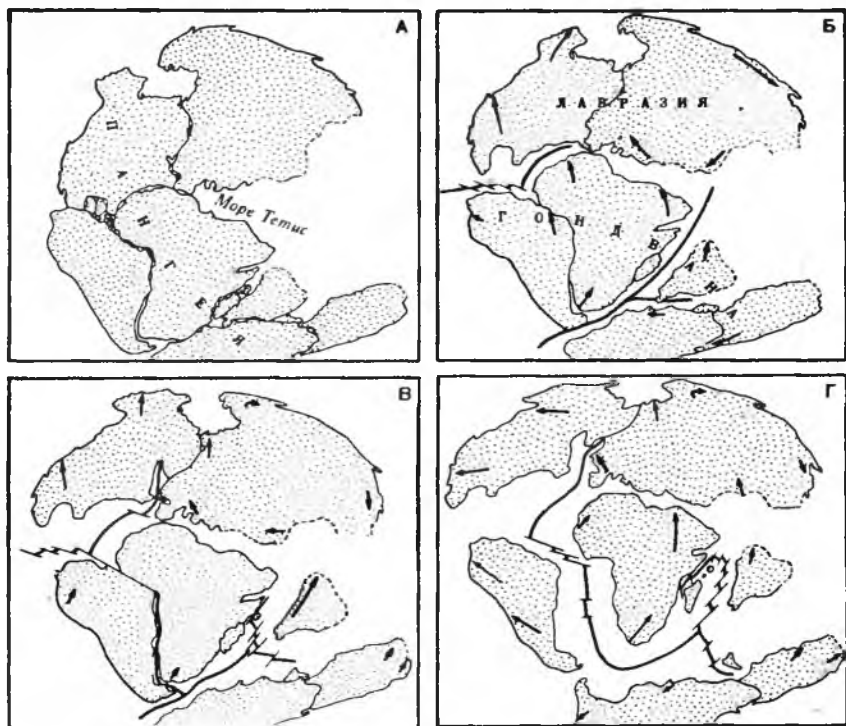


Рис. 41. Дрейф материковых плит:

В палеозойской эре существовал только один суперматерик — Пангея (А), но уже в конце триаса Пангея начала раскалываться на два суперматерика: северный — Лавразию и южный — Гондвану (Б). В юрском периоде этот раскол усугубляется начинающимся разделением афроюжноамериканской части от еще объединенных Антарктиды и Австралии (Б). В начале мела Южная Америка начинает отрываться от Африки, возникает Атлантический океан (В). В начале третичного периода он уже достаточно широк, хотя еще «закрыт» в северном полушарии (Г).

тарктиды и дрейфовала на север и восток. Антарктида тоже двигалась в направлении Южного полюса.

К началу кайнозойской эры материк занимал положение, близкое к современному, и расселение кайнозойских групп организмов объясняется другими факторами, влиявшими на историю Земли.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Докажите, что Гондвана действительно существовала.
2. К чему привел раскол Гондваны?

РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ В РАННЕМ ПАЛЕОЗОЕ

К началу палеозойской эры жизнь миновала, может быть, самую трудную часть своего пути. Сформировались четыре царства живой природы: прокариоты, или дробянки, грибы, зеленые растения, животные.

Относительно эволюции грибов известно очень мало, так как палеонтологическая летопись их остается скудной. Царства зеленых растений и животных намного богаче представлены ископаемыми остатками, дающими возможность довольно подробно восстановить ход их истории.

С самого своего возникновения животные находятся в тесной зависимости от растений, которые снабжают их кислородом и стоят в основании пищевой пирамиды жизни. Животные не могли бы развиваться теми темпами, которыми характеризуется их эволюция, если бы самые решительные шаги в эволюции не были приняты растениями.

У истоков родословной растений и животных. Родоначальниками царства зеленых растений были одноклеточные зеленые водоросли, распространенные еще в морях протерозоя. Наряду с плавающими формами среди них появились и прикрепленные ко дну. Фиксированный образ жизни потребовал расчленения тела на части, одни из которых служат для прикрепления к субстрату, другие осуществляют фотосинтез. У некоторых зеленых водорослей (сифональные формы) это было достигнуто благодаря гигантской многоядерной клетке, расчлененной на листовидную и корневидную части. Однако более перспективным оказалось приобретение многоклеточности, разделение многоклеточного тела на части, выполняющие различные функции. Интересно, что если у растений успех в развитии многоклеточной структуры связан с прикрепленным образом жизни, то у животных добиваются этого активно движущиеся формы.

Решающее значение для дальнейшей эволюции имело возникновение такого важного ароморфоза как *половой процесс*. В отличие от зеленых водорослей в цикле сине-зеленых отсутствуют подвижные жгутиковые стадии и размножаются они лишь бесполым путем. При таком размножении не происходит комбинации генов и потомки не приобретают новых свойств, которые помогли бы приспособиться к новой среде. Размножение половым путем позволило зеленым водорослям подхватить эволюционную эстафету и открыть новую линию развития.

Как и когда произошло разделение живого мира на растения и животных? Един ли их корень? Споры ученых вокруг этого вопроса не затихают и сегодня. Возможно, первые животные произошли от общего ствола всех эукариот или от одноклеточных зеленых водорослей. В пользу последнего предположения свидетельствует факт существования организмов, способных к фотосинтезу и к гетеротрофному питанию (вольвокс, эвглена зеленая). Не случай-

но поэтому ботаники относят их к типу зеленых водорослей, а зоологи — к типу простейших.

Эволюция животных изучена наиболее полно, так как она оставила более четкую каменную летопись. За всю историю животного мира возникло 35 типов, из которых 9 вымерло, а 26 существуют до сих пор.

Кембрий — расцвет скелетных беспозвоночных. На грани протерозоя и палеозоя происходил очередной период интенсивного горообразования, перераспределялись площади суши и моря. Множество остатков ископаемых в результате этого было уничтожено. В течение последующих горообразовательных периодов ископаемые остатки уже не подвергались столь значительному уничтожению. Вот почему начиная с первого периода палеозоя — кембрия — палеонтологическая летопись достаточно полна и относительно непрерывна.

Климат кембрия был умеренным, материка низменными. На суше по-прежнему жили лишь бактерии и сине-зеленые.

Наиболее разнообразно и богато жизнь была представлена в кембрийских морях, площадь которых значительно превышала площадь современных морей. Почти вся Европа была морским дном. В морях господствовали зеленые и бурые водоросли, прикрепленные ко дну; в толщах вод плавали диатомовые, золотистые, эвгленовые водоросли. Трудно представить, но в начале палеозойской эры все моря были без рыб! Уже в кембрии моря стали колыбелью почти всех основных типов животных, кроме хордовых.

В начале кембрия происходят серьезные изменения химизма океана. Увеличивается смыв солей из суши, возрастает концентрация кальция и магния в море. В результате морские животные получили возможность усваивать в больших количествах минеральные соли. А это, в свою очередь, открыло перед ними широкие пути построения жесткого скелета. Чаще всего скелет строится из карбоната и фосфата кальция, хитина и кремнезема.

Скелетные беспозвоночные определяют облик кембрийской морской фауны. Наиболее широкого распространения достигли древнейшие членистоногие — трилобиты, внешне сходные с современными ракообразными — мокрицами. Тело трилобитов было заключено в хитиновый панцирь, расчлененный на 40–50 сегментов. Число сегментов тела у современных ракообразных, как известно, значительно меньше. Некоторые трилобиты были размером с горошину, другие — больше полуметра в длину. Они плавали и ползали в мелководных заливах, питаясь растениями и остатками животных. Очень характерен для кембрия своеобразный тип многоклеточных животных — *археоциат*, который вымер к концу периода. Археоциаты имели прочный известковый скелет и прикреплялись ко дну, их скопления сходны с современными коралловыми рифами. В это время жили также разнообразные губки, кораллы, моллюски, плеченогие, сидячие иглокожие (морские лилии). Позднее появились морские ежи (табл. 10).

После кембрия эволюция беспозвоночных пошла по пути специализации и усовершенствования основных типов. Во всех типах обогатился систематический состав.

Ордовик. В ордовике значительные участки кембрийской суши погрузились, больше всего сократилась площадь суши в Сибири и Северной Америке. На грани кембрия и ордовика происходили интенсивные тектонические движения (так называемая каледонская складчатость), продолжавшиеся и до грани ордовика и силура.

В морях ордовика были разнообразно представлены зеленые, бурые и красные водоросли, многочисленны трилобиты. В ордовике появились первые головоногие моллюски, родственники современных осьминогов и кальмаров, распространились плеченогие, брюхоногие моллюски. Шел интенсивный процесс образования рифов четырехлучевыми кораллами и табулятами. Широкое развитие получают *граптолиты* — *полухордовые*, сочетающие в себе признаки беспозвоночных и позвоночных животных и напоминающие современных ланцетников.

В ордовике появились споровые растения — *псилофиты*, произрастающие по берегам пресных водоемов.

Силур — появление первых позвоночных. На смену теплым мелководным морям ордовика в результате интенсивных тектонических движений пришли значительные площади суши, что привело к иссушению климата.

В силурийских морях доживали свой век граптолиты, пришли в упадок трилобиты, но исключительного расцвета достигли *головоногие моллюски*.

Весьма многочисленные представители беспозвоночных — *кораллы* — постепенно вытесняют археоциат. В силуре развились своеобразные членистоногие — гигантские *ракоскорпионы*, достигавшие до 2 м в длину. К концу палеозоя почти вся группа ракоскорпионов вымерла. Из современных ракообразных их отдаленно напоминает своей многочленистой структурой мечехвост.

Особенно примечательным событием этого периода было появление и распространение первых представителей позвоночных животных — так называемых *панцирных «рыб»*. Внутренний скелет этих «рыб» был хрящевым, а снаружи тело покрывал костный панцирь, состоящий из щитков. Панцирные «рыбы» лишь по форме напоминали настоящих рыб, но принадлежали к другому классу позвоночных — бесчелюстным или круглоротым. У них отсутствовали парные плавники, поэтому они не могли долго плавать в толще воды и большей частью лежали на дне заливов и лагун. Из-за малоподвижного образа жизни панцирные «рыбы» оказались неспособными к дальнейшему развитию. Из современных представителей круглоротых известны миноги и миксины.

Характерная черта силурийского периода — интенсивное развитие наземных растений.

Десант на сушу. Одними из первых наземных, вернее земноводных, растений были псилофиты, ведущие свою родословную

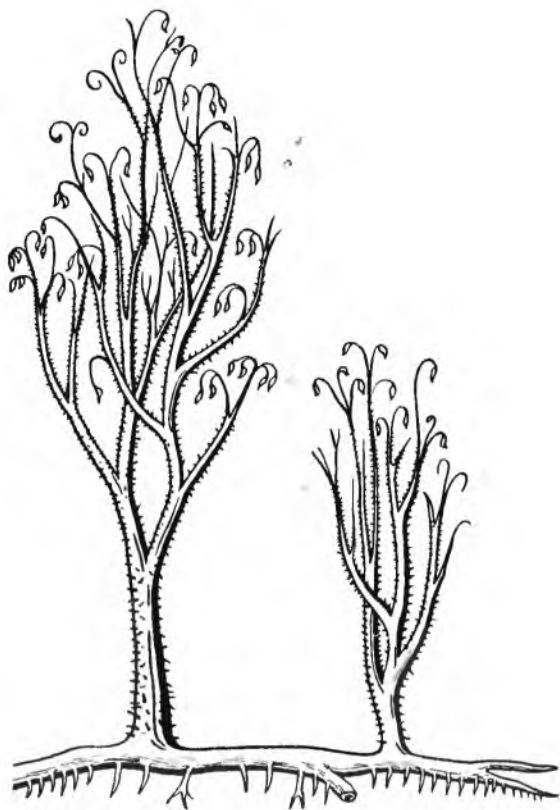


Рис. 42. Псилофиты — одни из первых завоевателей суши

от зеленых водорослей (рис. 42). В водоемах водоросли адсорбируют воду и растворенные в ней вещества всей поверхностью тела, вот почему у них нет корней, а выросты тела, напоминающие корни, служат лишь органами прикрепления. Вне водоема становится необходимым расчленение тела на органы, выполняющие определенные функции. Наземные растения могут черпать влагу и соли лишь из почвы. Необходимость поддержания относительно тяжелого растения в воздушной среде ведет к развитию стебля, несущего листья.

В связи с необходимостью проведения воды от корней к листьям возникает сосудистая система.

Строение псилофитов еще напоминало строение многоклеточных зеленых водорослей. Они были лишены настоящих листьев и достигали в высоту около 1/4 м. Псилофиты имели древовидную форму, отдельные нитевидные отростки служили им для прикрепления к почве и поглощения из нее воды и минеральных веществ. Наряду с образованием подобия корней, стебля и примитивной

проводящей системы у псилофитов развилась покровная ткань, предохраняющая их от высыхания.

Выход растений на сушу — один из величайших моментов эволюции. Он был подготовлен предыдущей эволюцией органической и неорганической природы. В результате взаимодействия бактерий и сине-зеленых с минеральными веществами на суше образовался биогенный слой — *почва*, из которой псилофиты могли черпать пищевые ресурсы.

Формирование озонового экрана, вставшего на пути губительных для живых организмов коротковолновых ультрафиолетовых лучей, увеличение концентрации свободного кислорода до 10% его концентрации в современной атмосфере явились необходимыми условиями для развития жизни на суше.

Кроме того, интенсивные горообразовательные процессы, происходившие в ордовике и силуре, привели к сокращению морских бассейнов и образованию обширных заболоченных областей.

Благодаря значительным запасам биомассы растений возникла возможность выхода на сушу и животных. Первыми посланцами были паукообразные, близкие по строению к современным скорпионам. Они распространились на суше почти одновременно с псилофитами.

Девон — период рыб. В результате поднятия суши и сокращения морей климат девона был более резко континентальный, нежели в силуре, происходили обледенения в горных районах Южной Африки. В более теплых районах климат изменился в сторону большего иссушения, появились пустынные и полупустынные области.

В морях девона большого расцвета достигли рыбы. Потомки панцирных «рыб» дали разнообразнейших представителей настоящих рыб. Среди них были *хрящевые* рыбы (современные — акулы, скаты, химеры), появились рыбы с костным скелетом. *Костистые* рыбы в настоящее время характеризуются огромным разнообразием и являются главными представителями позвоночных в океане.

По строению плавников костистые рыбы делятся на *лучеперых*, имеющих веерообразные плавники, и *кистеперых* — с плавниками, похожими на кисть. Группа лучеперых рыб насчитывает в настоящее время больше видов, чем все остальные позвоночные вместе взятые. Несмотря на это, честь определить новое направление эволюции выпала не лучеперым, а древним кистеперым рыбам. Девон стал временем их расцвета. У кистеперых рыб были короткие мясистые плавники — два грудных и два брюшных, при помощи которых они не только плавали, но и могли передвигаться по высыхающим озерам в поисках воды. Самое удивительное, что в условиях обмелевших водоемов они приобрели способность дышать воздухом. Для дыхания им служил плавательный пузырь с сильно разветвленными кровеносными сосудами. Постепенно чарные плавники становились все более удобными для ползания

и превращались в пятипалую конечность, а плавательный пузырь усложнялся, разрастался и видоизменялся в легкие.

До недавнего времени считалось, что кистеперые вымерли в конце палеозоя. Но в 1938 г. рыболовный траулер доставил в музей Ист-Лондона (Южная Африка) необычную рыбу длиной 1,5 м и массой 50 кг. Сотрудница музея К. Латимер поняла, что эта неизвестная рыба должна представлять большой научный интерес, и не ошиблась. Обнаруженная рыба оказалась посланцем далекой геологической эпохи и была названа латимерией в честь мисс К. Латимер.

Экземпляры сохранившейся до нас кистеперой рыбы вылавливались впоследствии неоднократно у берегов Южной Африки и Мадагаскара. Ученые предполагают, что кистеперые рыбы появились 300 млн. лет назад. Они на 200 млн. лет старше динозавров! За такой колоссальный период эти рыбы мало изменились. Удивительно, что в их строении уже были намечены общие черты организации земноводных и других позвоночных животных, в том числе и человека — структура пятипалых конечностей.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. В чем состоит своеобразие кембрийской морской фауны?
2. Какие факторы эволюции привели к возникновению ароморфозов, позволивших растениям выйти на мелководье, а затем на сушу?
3. Сравните псилофиты и зеленые водоросли. Какие приспособления возникают у растений в связи с выходом на сушу?
4. В чем заключается эволюционное значение кистеперых рыб?

КОНЕЦ ПАЛЕОЗОЯ — ПОБЕДА ЖИЗНИ НА ПОВЕРХНОСТИ СУШИ

В конце палеозоя (карбон, пермь) наиболее существенным этапом развития жизни было завоевание суши растениями и животными. Этому способствовало сокращение морских бассейнов в связи с горообразованием, поднятием суши, площадь которой была значительно больше, чем в наше время.

Моря каменноугольного и пермского периодов изобиловали фораминиферами и другими простейшими, имеющими раковины (табл. 11). Их огромные скопления образовывали мощные пласты известняка. Под воздействием высоких давлений и температур известняки превращались в мрамор.

Расцвет древесной растительности. Еще в конце девонского периода растительность стала значительно разнообразнее, а ее облик иным. От псилофитов выделились типичные *споровые растения*: *плауны, хвощи, папоротникообразные*. На земной поверхности возникали первые леса.

К началу карбона произошло заметное потепление и увлаж-

нение. На огромных пространствах заболоченных долин и тропических лесов в условиях оранжерейного климата непрерывного лета все стремительно росло вверх. На смену одним растениям приходят другие. Так, на месте древних каменноугольных лесов накапливались мощные слои отмерших растений, которые позже образуют самые крупные на Земле угольные бассейны. Именно к этому периоду относится возникновение Подмосковского угольного бассейна и углей Донбасса. Растительность древних лесов была представлена гигантскими древовидными плаунами — лепидодендронами и сигилляриями (высотой 30—40 м и диаметром 1—2 м), величественными каламитами и клинолистниками — родственниками современных хвощей, древовидными формами папоротников, часто с красивыми перистыми листьями.

Таким образом, уже в середине каменноугольного периода Земля была покрыта пышной и разнообразной растительностью. Однако выход на сушу папоротников, хвощей, плаунов и отрыв их от водной среды не были еще окончательными. Это объясняется особенностью цикла развития этих растений, в котором преобладает гаплоидное поколение и сохраняется стадия подвижных жгутиковых гамет, для которых необходима водная среда. Именно необходимость воды как переносчика сперматозоидов и ограничивала распространение этих растений на суше. Надо было искать другие пути.

Эволюция открыла этот новый путь — *размножение семенами*. Семя снабжено оболочкой, предохраняющей его от внешних воздействий. В момент отделения от родительского растения семя уже содержит оплодотворенную яйцеклетку и представляет собой миниатюрный организм. Размножение семенами освобождает половой процесс от необходимости водной среды. Поэтому голосеменные растения, обладавшие этим более совершенным способом размножения, подхватили эволюционную эстафету, а споровые растения остались боковой ветвью эволюции и отошли на задний план.

Первые голосеменные растения появились еще в карбоне и были представлены семенными папоротниками (птеридоспермами). В перми голосеменные растения успешно выдержали конкуренцию со споровыми, вытеснили их и были широко представлены хвойными, цикадовыми, гинкговыми (рис. 43). Этому способствовали развитие засушливого климата и похолодание, вызванные дальнейшим поднятием суши, возникновением гор Урала, Алтая, Тянь-Шаня.

Выход животных на сушу. Выход позвоночных на сушу произошел еще в позднедевонскую эпоху, примерно через 50 млн. лет после первых завоевателей суши — псилофитов. В это время воздух был уже освоен насекомыми, а по земле стали распространяться потомки кистеперых рыб. Новый способ передвижения позволил им на некоторое время удалиться от воды. Это привело к появлению существ с новым образом жизни — *земноводных*. Наиболее

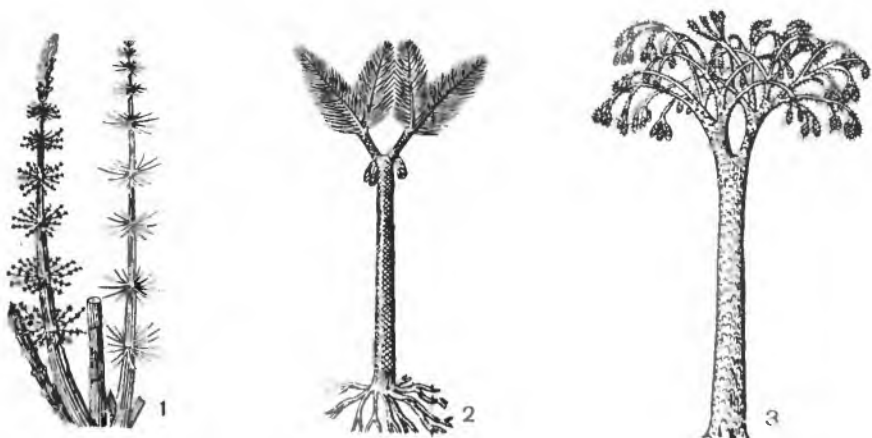


Рис. 43. Палеозойские растения

древние их представители — ихтиостеги — обнаружены в Гренландии в девонских осадочных породах. Короткие пятипалые лапы ихтиостег, благодаря которым они могли переползгать по суше, походили скорее на ласты. Наличие хвостового плавника, тела, покрытого чешуей, свидетельствует о водном образе жизни этих животных.

Расцвет древних амфибий приурочен к карбону. Именно в этот период широкое развитие получили *стегоцефалы* (панцирноголовые). Форма их тела напоминала тритонов и саламандр. Размножение стегоцефалов, как и современных земноводных, происходило с помощью икры, которую они метали в воду. В воде развивались личинки, имевшие жаберное дыхание. Из-за этой особенности размножения земноводные навсегда остались связанными со своей колыбелью — водой. Они, как и первые наземные растения, обитали лишь в прибрежной части суши и не могли завоевать внутриконтинентальные массивы, расположенные вдали от водоемов.

В связи с выходом на сушу в строении земноводных отразились и получили дальнейшее развитие прогрессивные черты сухопутных позвоночных животных, характерные еще для кистеперых рыб: кости плавников постепенно преобразовались в пятипалые конечности, произошло удлинение конечностей, развилось шарнирное сочленение в плечевом и бедренном суставах (все это обеспечило удобное передвижение по суше способом ходьбы), усовершенствовалось легочное дыхание. Благодаря этим особенностям строения земноводные сделали первый решительный шаг на сушу, но полными хозяевами суши стали их потомки — *пресмыкающиеся* (рис. 44).

Пресмыкающиеся — властелины суши. Примерно 50 млн. лет отделяют появление первых земноводных от возникновения первых пресмыкающихся. Среда всегда доказывала могучее влияние на

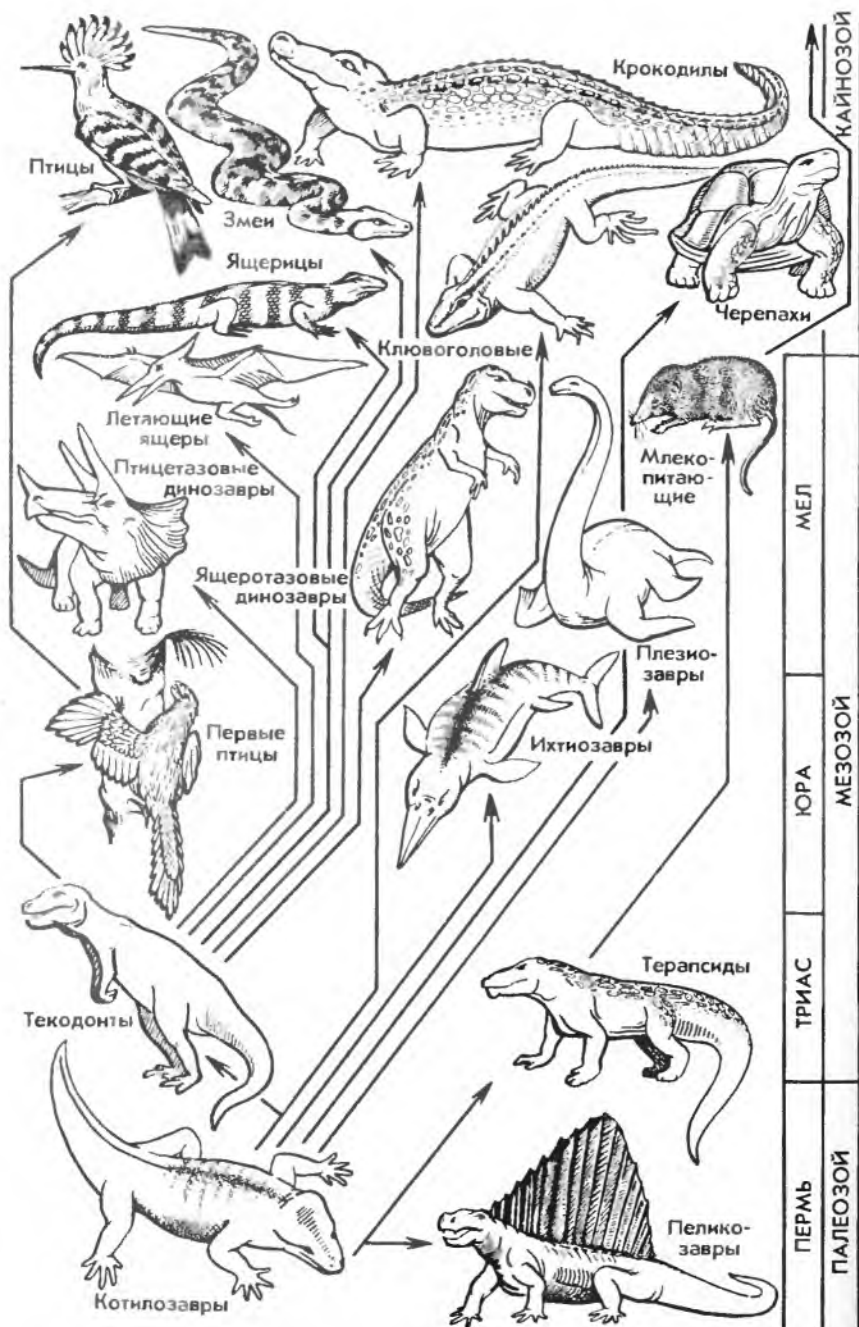


Рис. 44. Родословная пресмыкающихся

эволюцию. Развитие засушливого климата в пермском периоде привело к постепенному вымиранию стегоцефалов и развитию пресмыкающихся, в жизненном цикле которых нет стадий, связанных с водой. В связи с сухопутным образом жизни у пресмыкающихся возникло несколько крупных ароморфозов, обеспечивших преимущество этих животных перед земноводными:

— Размножение на основе откладывания яиц, имеющих специфическую прослойку из жидкости, защищающей зародыш от высыхания. Эта жидкая прослойка, заключенная внутри яйца, как бы заменила пресмыкающимся и другим высшим позвоночным водную среду, в которой развиваются икринки рыб и земноводных. Яйцеклетка оплодотворяется внутри яйца женского организма, что обеспечивает большую надежность размножения.

— Роговой покров тела, предохраняющий его от высыхания.

— Более развитые мускулатура, дыхание, кровообращение, появление зачаточных мозговых полушарий.

— Обособление шейного отдела позвоночника, позволяющего свободно двигать головой и, следовательно, быстро реагировать на внешние события.

— Более совершенные конечности, поднимающие тело над землей и обеспечивающие быстрое передвижение.

Благодаря этим ароморфозам пресмыкающиеся могли удалиться от водных бассейнов и широко распространяться по пермской суше, оставаясь ее могучими властелинами почти 200 млн. лет.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Чем объяснить процветание папоротникообразных в каменноугольном периоде и их постепенное вымирание к концу палеозойской эры?
2. Какие ароморфозы позволили голосеменным растениям выдерживать конкуренцию со споровыми?
3. Какие ароморфозы привели к возникновению древних земноводных?
4. Почему пресмыкающиеся в конце палеозоя стали властелинами суши?

РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ В МЕЗОЗОЕ

Мезозой справедливо называют эрой пресмыкающихся и голосеменных. В течение этой эры пресмыкающиеся достигли огромного разнообразия. Они заселили всю сушу, моря, некоторые приспособились к полету. Появились разные виды речных крокодилов, ящериц, черепах, но полными «хозяевами» суши были динозавры. В те далекие времена они бродили по всей Земле. Некоторые из них были хищниками, но большинство тихими «вегетарианцами». К концу мезозоя постепенно, в течение не-

скольких миллионов лет происходит массовое вымирание динозавров. Господство динозавров в течение целой геологической эры и почти одновременное вымирание их в ее конце составляют большую загадку в палеонтологии.

Триас. В триасе сильно сократились площади континентальных водоемов, развились пустынные ландшафты. В условиях засушливого климата произошло вымирание сухопутных организмов, у которых отдельные этапы жизни связаны с водой. Вымерли большинство земноводных, почти полностью исчезли папоротники, хвощи, плауны. Вместо них начали преобладать формы, в жизненном цикле которых не было стадий, связанных с водой. Среди растений в триасе значительного развития достигают *голосеменные*, среди животных — *пресмыкающиеся*.

Из триасовых пресмыкающихся дожили до наших дней черепахи и гаттерия. Гаттерия — настоящее «живое ископаемое», сохранившееся ныне лишь на нескольких островах близ Новой Зеландии. Она очень мало изменилась за последние 200 млн. лет и сохранила, как и ее триасовые предки, третий глаз¹, расположенный в крышке черепа.

Уже в конце триаса возникают два главных ствола динозавров, основное различие между которыми заключается в строении тазового пояса. У одной ветви таз состоит из четырех костей (ящеротазовые), у другой — из трех (птицетазовые динозавры). Динозавры триаса были относительно невелики: длина тела крупных динозавров достигала 5—6 м, мелкие были размером с курицу.

Наряду с несомненными прогрессивными чертами в организации пресмыкающихся имелаась одна весьма существенная несовершенная черта — непостоянная температура тела. При понижении температуры среды пресмыкающиеся становятся вялыми, оцепеневают. В теплом триасе, да и в течение всего сравнительно теплогс мезозоя непостоянная температура тела не была столь большим отрицательным свойством. Тем не менее уже в триасе возникли первые представители теплокровных — *мелкие примитивные млекопитающие*.

Юра: динозавры — властелины планеты. До настоящего времени известно более 250 видов динозавров, постоянно открываются новые, ранее неизвестные виды. Крупнейшие «кладбища» гигантских динозавров обнаружены советскими палеонтологами в Монгольской Народной Республике, в пустыне Гоби в 1946—1949 гг.

Самые крупные из известных наземных животных — брахиозавры относятся к группе ящеротазовых динозавров. У них был очень длинный хвост и шея, маленькая голова и громадное туловище. Они достигали более 30 м в длину и весили до 50 т. Если

¹ Среди современных пресмыкающихся остатки третьего глаза можно видеть также у обитающих в нашей стране агам и круглоголовок.

бы они жили в наше время, то благодаря своей длинной шее могли бы смотреть через пятиэтажные дома. Очевидно, нагрузка на скелет у этих гигантов была близка к критической, и поэтому часть времени они проводили, погружившись в воду, возвышаясь длинной шеей над водной поверхностью. Обладая пастью, почти лишенной зубов, бронтозавры питались мягкой прибрежной растительностью. Крупнейших размеров достигали и охотившиеся за ними хищные динозавры. Самый крупный хищник — тиранозавр принадлежал к ящеротазовым. Он был двуногим, с редуцированными передними конечностями, мощным хвостом и страшными острыми зубами, длиной тела до 15 м и высотой около 6 м. Интересно, что появление хищных пресмыкающихся в начале мезозойской эры привело к усвершенствованию строения их собратьев, причем появились самые причудливые формы, которые не известны ни в одной другой группе животных (табл. 12).

Некоторые представители пресмыкающихся вновь вернулись в воду. И заново приспособились к жизни в водной среде, а это привело к возникновению целого ряда приспособлений, начиная от формы тела, конечностей и заканчивая физиологией организма. Водные пресмыкающиеся изменили и способ размножения, постепенно перейдя к живорождению. Среди водных форм наиболее известны ихтиозавры, возникшие еще в триасе. По строению тела они напоминали акул и дельфинов. В морях юры появились плезиозавры — животные с широким туловищем, длинными лапами и змеевидной шеей.

Пресмыкающиеся — вторая группа животных, которая вслед за насекомыми делает попытку освоить воздушную среду. Летающие ящеры — птерозавры были двух типов: рамфоринхи с длинными узкими крыльями и длинным хвостом-рулем были способны к планирующему полету; ширококрылые и короткохвостые птеродактили — к порхающему. Крыло у птерозавров было образовано кожной складкой, отходившей от боков тела и поддерживавшейся длинным четвертым пальцем передней конечности. В 1975 г. в штате Техас обнаружены останки летающего ящера с размахом крыльев 16,5 м. Птерозавры существовали на протяжении примерно 100 млн. лет, но их строение оказалось не особенно перспективным и они вымерли к концу мела.

В меловой период широкое развитие получили птицетазовые динозавры, исключительно разнообразные по размерам и формам. От врагов их защищали костные щиты, рога. Это различные панцирные и «бронированные» динозавры, игуанодоны, утконосы, рогатые динозавры, отдаленно напоминающие носорогов, и др. По-прежнему встречались гигантские формы.

Драматическая история динозавров, их быстрое (в геологическом смысле) вымирание, последовавшее сразу после эпохи бурного расцвета, всегда волновала ученых. По этому поводу высказано множество гипотез. Предполагают, в частности, что

это могло быть следствием массового уничтожения яиц динозавров примитивными млекопитающими. Более правдоподобной кажется гипотеза, согласно которой вымирание динозавров связано с резкими колебаниями климата и уменьшением растительной пищи в меловом периоде.

В конце мела наступает новый период интенсивного горообразования — альпийская складчатость. Поднимаются молодые горные хребты — Альпы, Анды, Гималаи. Климат стал меняться в сторону резкой континентальности и общего похолодания. Сужается площадь морей.

В морях вымирают головоногие моллюски — аммониты и белемниты, весьма распространённые в юрском периоде. Возможно, это вызвало вымирание и питавшихся ими морских ящеров. На суше стала исчезать околотовная растительность, служившая пищей растительноядным динозаврам, что, вероятно, привело к их исчезновению, вымерли и хищные динозавры.

От поразительно разнообразного в прошлом класса пресмыкающихся в наши дни уцелело 6000 видов. Это представители пяти эволюционных ветвей: гаттерии, ящерицы, змея, черепахи, крокодилы.

Появление птиц. Птицы появились в юрском периоде. Они представляют боковую ветвь пресмыкающихся, приспособившихся, подобно птерозаврам, к полету. Палеонтологические данные свидетельствуют, что предками птиц, по-видимому, были лазающие псевдозухии — мелкие ящерицеобразные хищные пресмыкающиеся гриасового периода, обитавшие на деревьях, где они были защищены от врагов и легко могли добыть пищу. Особенно большое сходство с пресмыкающимися имела юрская первотница — *археоптерикс*. Уникальный по сохранности скелет этого животного обнаружен в середине прошлого века в Баварии, в одном из карьеров по добыче литографского камня. Голова археоптерикса была похожа на голову ящерицы, тело, крылья и длинный хвост покрыты перьями. Именно наличие перьев отделяет птиц от пресмыкающихся. Но в их строении еще много черт, свойственных предкам: голова, покрытая чешуей, брюшные ребра, длинный хвост из 18—20 позвонков, зубы, длинные когти на передних конечностях — крылья.

Археоптерикс, таким образом, — замечательный пример эволюционно переходной формы.

Меловой период: цветковые растения в авангарде эволюции. Меловой период назван так в связи с обилием мела в морских отложениях того времени. Он образовался из остатков раковин простейших животных — фораминифер. В начале мелового периода произошел следующий крупный сдвиг в эволюции растений — появились цветковые (покрытосеменные). Естественный отбор дал этим растениям значительные преимущества над голосеменными: двойное оплодотворение и обеспечение зародыша запасами питательных веществ, защита его околоплодниками.

ком. Эти ароморфные изменения обеспечили цветковым растениям биологический прогресс в следующую, кайнозойскую эру. Они широко заселили Землю и характеризуются большим многообразием. Некоторые формы меловых покрытосеменных: тополя, ивы, дубы, эвкалипты, пальмы — сохранились и поныне.

Широко распространиться и завоевать самые недоступные участки суши позволила покрытосеменным и их приспособленность к сезонным изменениям климата (за исключением тропических растений, все покрытосеменные являются листопадными). Сезонность климата установилась к концу юры, что совпадает с временем возникновения этих растений.

Появление и развитие покрытосеменных — одно из крупнейших событий в истории жизни на Земле. Увеличилось количество и разнообразие растительной пищи, что способствовало расцвету насекомых, птиц, млекопитающих. В свою очередь, эти животные сыграли большую роль в распространении покрытосеменных растений для перекрестного опыления с помощью насекомых, колибри, летучих мышей, распространение плодов и семян птицами и млекопитающими.

Приспособившись к изменившимся и усложнившимся условиям существования, цветковые растения создали новый разнообразный растительный покров Земли из деревьев, кустарников и трав.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Приведите примеры ароморфозов, возникших в мезозое.
2. Какие частные приспособления (идеоадаптации) обеспечили заселение древними пресмыкающимися различных сред обитания?
3. Как объяснить расцвет и вымирание динозавров в течение одной эры?
4. Докажите, что птицы произошли от древних пресмыкающихся.
5. Сравните голосеменные и покрытосеменные растения. Какие ароморфозы обеспечили преимущество покрытосеменных?

РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ В КАЙНОЗОЕ

Кайнозой — эра новой жизни — время расцвета цветковых растений, насекомых, птиц и млекопитающих.

Млекопитающие на переднем крае эволюции. Уже в период господства динозавров существовала предковая группа млекопитающих — небольших по размеру, с шерстяным покровом животных, возникших от одной из групп хищных пресмыкающихся — тераспид, или звероподобных. Долгое время, примерно в течение 150 млн. лет, первые мелкие млекопитающие находились как бы в тени гигантских ящеров. Уже во второй половине мела возникли

сумчатые и плацентарные млекопитающие. Они были более прогрессивно биологически организованы. Длительное вынашивание детенышей в теле матери, питание эмбрионов через плаценту, связывающую кровотоки матери и плода, — прогрессивные черты организации млекопитающих, позволившие им лучше приспособиться к меняющимся условиям существования. Пресмыкающиеся из-за непостоянной температуры тела, откладки яиц находились в большей зависимости от колебаний условий среды и имели ограниченную возможность к распространению. Приобретя живорождение, заботу о потомстве и теплокровность, млекопитающие получили преимущество перед пресмыкающимися, стали менее зависимыми от изменений среды. Живорождение, теплокровность, более развитый мозг и связанная с ним большая активность обеспечили таким образом прогресс млекопитающих, их выход на передний край эволюции.

Третичный период. Кайнозой делится на два неравных периода: третичный и четвертичный. Уже в третичном периоде млекопитающие заняли господствующее положение, приспособившись к различным условиям на суше, в воздухе, воде, и как бы заменили мезозойских пресмыкающихся (табл. 12). В палеоцене и эоцене от насекомоядных произошли первые хищники, от них в олигоцене ответвились современные группы хищных: медведи, куньи, кошачьи, псовые. В первой половине третичного периода хищные начали завоевывать море, их потомки — ластоногие и китообразные. От древних палеоценовых хищных произошли и первые копытные, которые затем дали ряд ветвей: парнокопытных, непарнокопытных, хоботных и др.

В первой половине третичного периода (особенно в олигоцене) были широко распространены леса тропического и субтропического типа, а к концу третичного периода (в плиоцене) начался великий процесс остепнения суши. Тропические и саванные леса, росшие некогда в умеренной зоне от Венгрии до Монголии, в связи с несколько большей засушливостью климата сменились открытыми ландшафтами. Эти изменения привели к развитию *злаковых растений*, представляющих собой самостоятельную группу покрытосеменных, приспособленную к существованию в сухом или сезонно-засушливом климате. Благодаря возникновению и распространению злаков, способных образовывать плотную дернину, смогли появиться на Земле и занять на ней обширные площади степи, саванны, прерии. Кроме того, питательные и легко перевариваемые стебли, листья и семена травянистых злаков стали идеальной пищей для быстро развивающейся группы млекопитающих.

В связи с процессом остепнения суши млекопитающие попали в условия среды, почти не содержащей укрытий. Одни группы млекопитающих (полевки, песчанки) шли в своей эволюции по пути создания сложных нор, другие, более крупные формы (антилопы и лошади) перешли к кочевому образу жизни, совершая значитель-

ные миграции. При этом постепенно уменьшалось число пальцев. Например, выход на открытое пространство способствовал быстрой эволюции предков лошадей от трехпалых к однопалым формам.

Завоевание степей вело к резкому увеличению размеров стада, переходу от семейно-группового к стадно-стайному образу жизни. Сравните небольшие группы горно-лесных антилоп-горалов с тысячными стадами степных сайгаков. Лесные олени: благородные, маралы, изюбры, пятнистые — никогда не образуют стад более 20—30 голов. Известны большие группировки и для лесного подвиды северного оленя, тогда как обитатели открытых ландшафтов — тундровые северные олени — образуют многочисленные стада. При этом на смену одним сигналам из внешнего мира и воспринимающим их органов чувств приходят другие сигналы и иные органы чувств. В лесу запах сохраняется дольше, чем на продуваемых ветром открытых пространствах. Поэтому запах и обоняние, игравшие столь большую роль у жителей лесов, на открытом пространстве не имеют такого значения из-за большого расстояния между животными. Запах, обоняние, а также зрение и жест в стаде отходят на второй план, уступая место звуковому сигналу и слуху как органу, воспринимающему такой сигнал.

Уже в первой половине третичного периода успели возникнуть все современные отряды млекопитающих, а к середине периода широко распространились общие предковые формы *человекообразных обезьян и людей*.

В связи с процессом остепнения суши, сокращения лесных площадей одни из форм человекообразных обезьян отступали в глубь лесов, другие спускались с деревьев на землю и стали завоевывать открытые пространства. Потомками последних являются люди, возникшие в третичном периоде.

Четвертичный период: формирование ландшафтов современного типа. Четвертичный период продолжался около 1—1,5 млн. лет. Большая часть времени пришлась на ледниковый век — *плейстоцен*. 12 000—20 000 последних лет наступает последний век — *голоцен*. Еще в начале плейстоцена фауна Европы и СССР была достаточно теплолюбивой, сохраняла немало субтропических видов. В течение плейстоцена территории Евразии и Северной Америки четырежды подвергались гигантским оледенениям. Языки ледника, сползавшего со Скандинавии, доходили до Киева, Харькова и Воронежа. Ледники Антарктиды, Исландии, Северной Земли, Земли Франца-Иосифа, Памира и Тянь-Шаня — остатки четвертичных оледенений.

В течение четвертичного периода вымерли мастодонты (древние слоны), мамонты, саблезубые тигры, гигантские ленивцы, большерогие торфяные олени. Большую роль в вымирании крупных млекопитающих сыграли древние охотники. Они истребили мамонта и шерстистого носорога в Евразии, мастодонтов, лошадей, гигантских ленивцев, морских коров в Америке. Исчезновение

многих крупных хищников (пещерный лев, пещерный медведь) было, по-видимому, связано с тем, что человек уничтожил их жертв — крупных копытных.

Отрицательный баланс тепла в зоне оледенения привел к тому, что пары воды конденсировались в виде снега, а таяние льдов и снегов ежегодно давало меньше воды, чем выпадало снега. Накопление гигантских запасов льда на суше привело к существенному понижению уровня Мирового океана (на 60—90 м). В результате возникли сухопутные мосты между континентальной Европой и Британскими островами, Азией и Северной Америкой, Приамурьем и Сахалином, между полуостровом Индокитай и островами Зондского архипелага. По этим участкам суши происходил обмен животными и растениями.

Те же сухопутные мосты, которые служили путями обмена между наземными животными и растениями, препятствовали обмену фауной и флорой в сообщавшихся ранее морях. Отсутствие сухопутного моста между Азией и Австралией сохранило жизнь примитивнейшим млекопитающим — клоачным и сумчатым, которые еще в третичный период были вытеснены плацентарными млекопитающими на других континентах.

В Старом Свете (за исключением Мадагаскара) человек расселился как минимум 500 тыс. лет назад. Перед последним оледенением (около 35—40 тыс. лет назад) через сухопутный мост в районе современного Берингова пролива древние охотники из Азии перешли в Северную Америку, которую заселили до Огненной Земли. По мере таяния ледников происходило вторичное заселение человеком освободившихся из-под ледников территорий.

Около 10 000 лет назад в умеренно теплых областях Земли (Средиземноморье, Ближний Восток, Индия, Китай, Мексика, Перу) началось одомашнивание животных и введение растений в культуру. Наступила «неолитическая революция», связанная с переходом человека от собирательства и охоты к земледелию и скотоводству.

Бурная деятельность человека: распашка земель, раскорчевка и выжигание лесов, стравливание пастбищ и вытаптывание травостоев домашними животными, прямое истребление — привела к вымиранию или сокращению ареалов многих степных животных (тур, тарпан и др.), к расширению площадей пустынь (Сахара, Каракумы и др.), появлению подвижных песков.

Весь четвертичный период в Старом Свете проходил при участии и значительном влиянии человека. Это в основном определило тот видовой состав органического мира, который существует в настоящее время, повлияло на современное географическое распространение организмов, создало современные биогеоценозы и привело к сегодняшней зональности. Огромную роль в распределении и видообразовании сыграли как сухопутные мосты, так и изоляции ледниками. Множество видов и подвидов сформировались в течение четвертичного периода.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Какие ароморфозы обеспечили становление млекопитающих?
2. Каковы основные черты эволюции млекопитающих в третичный период?
3. Какие виды млекопитающих вступили на путь биологического регресса в кайнозойской эре? Почему?
4. Как повлиял человек на фауну и ландшафты четвертичного периода?

Глава VI. АНТРОПОГЕНЕЗ

На протяжении 35–40 тыс. лет — времени существования на Земле человека современного типа — сделаны великие открытия и достигнут выдающийся технический прогресс. Нет пределов человеческому разуму, и мир может стать в ближайшие годы или десятилетия свидетелем новых замечательных открытий и новых достижений. Естественно спросить: как возник этот вид?

ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ОТ ЖИВОТНЫХ

Следы прошлого. Общие принципы строения организма человека заложены еще миллиарды лет назад, когда сформировался генетический код и возникла первая клетка. В наших генах содержится значительная часть генофонда древних рыб, первых хордовых и даже некоторых беспозвоночных животных. Солевой состав крови близок к солевому составу древнего океана. Человек — представитель класса млекопитающих, он позвоночное животное и поэтому родствен рыбам, земноводным, пресмыкающимся и птицам.

Основные черты человеческого тела, унаследованные от животных

<i>Основные черты</i>	<i>От кого унаследованы</i>
Генетический код ядра	Первые одноклеточные эукариоты
Генетический код митохондрий	Прокариоты
Двухсторонняя симметрия	Предшественники ранних хордовых
Костный скелет	Рыбы
Пятипалые конечности	Рыбы, земноводные
Легочное дыхание	Земноводные и пресмыкающиеся
Амниотическое яйцо	Пресмыкающиеся
Удлиненные конечности, дифференцированная зубная система, молочные железы, теплокровность	Примитивные млекопитающие

Появление этих основных черт характеризует крупные *ароморфозы*, приведшие к прогрессивному развитию позвоночных животных.

Человек — примат. Еще К. Линней в XVIII в. впервые отвел человеку место в отряде приматов класса млекопитающих и дал ему видовое название *Homo sapiens* (человек разумный). Показав на основе сходства строения тела систематическое положение человека как представителя царства животных, К. Линней сделал важнейший шаг для решения вопроса о происхождении человека. Этот вопрос в XIX в. разработал Ч. Дарвин и его последователи Т. Гексли, Э. Геккель и Э. Дюбуа.

Выйдя из животного царства, человек разумный остается одним из его членов, хотя и находится на особом положении. Царство Животные, подцарство Многоклеточные, раздел Двусторонне-симметричные, тип Хордовые, подтип Позвоночные, группа Челюстноротые, класс Млекопитающие, отряд Приматы, подотряд Обезьяны, секция Узконосые, надсемейство Высшие узконосые, или Гоминоиды, семейство Гоминиды, род Человек, вид Человек разумный — таково наше положение в системе органического мира.

Приматы (*Primates* — князья) — высшие млекопитающие, приспособленные к жизни на деревьях. Они имеют сильно развитые большие полушария головного мозга, хорошо развитые подвижные пятипалые конечности, дифференцированную систему зубов, совершенные органы слуха, зрения и осязания. К этому отряду относят *полуобезьян* (лемуров и долгопятов) и *обезьян*. Обезьяны представлены большим числом видов (около 140). Они обычно крупнее полуобезьян, с яркой окраской шерсти, часто имеют гривы, хохолки, бакенбарды. Лицо, ладони и подошвы обезьян голые. Их мозг гораздо крупнее, а полушария изрезаны большим количеством борозд, что обуславливает более сложное поведение: у них лучше выражены стадность, мимическая и звуковая сигнализация.

В подотряде обезьян выделяют две секции: широконосые, или американские, обезьяны и узконосые, или обезьяны Старого Света. Человекообразные обезьяны и человек наряду с павианами, марышками принадлежат к узконосым обезьянам. Из этой секции выделяется надсемейство высших узконосых, или *гоминоид*, которое, в свою очередь, объединяет два семейства: *высших человекообразных обезьян* и *гоминид* (табл. 13). К последнему семейству и относится человек.

Човекообразные обезьяны 20—30 млн. лет назад были широко распространены по всему Старому Свету. В настоящее время они представляют собой угасающую ветвь эволюции приматов. В Азии сохранились только гиббоны, обитающие в Индокитае и

Индонезии, и орангутаны, ареал которых ограничен островами Калимантан и Суматра. В Африке, в бассейнах рек Конго и Нигер, обитает шимпанзе; к северо-востоку от озера Киву, в Камеруне и Габоне встречается горилла.

Объединение человека и человекообразных обезьян в единое надсемейство основывается на большом сходстве между ними.

Сходство и различия человека и высших человекообразных обезьян. О родстве человекообразных обезьян (антропоидов) и человека свидетельствует сходство многих анатомических и физиологических особенностей. Впервые это установил соратник Ч. Дарвина — Т. Гексли. Проведя сравнительно-анатомические исследования, он доказал, что анатомические различия между человеком и высшими обезьянами менее значительны, чем между высшими и низшими обезьянами.

Уже во внешнем облике человека и человекообразных обезьян много общего: крупные размеры тела, длинные по отношению к туловищу конечности, длинная шея, широкие плечи, отсутствие седалищных мозолей, выступающий из плоскости лица нос, сходная форма ушной раковины. Тело антропоидов покрыто редкой шерстью без подшерстка, через которую просвечивает кожа. Очень похожа на человеческую их мимика.

Во внутреннем строении следует отметить сходное число долей в легких, число сосочков в почке, наличие червеобразного отростка слепой кишки, почти одинаковый узор бугорков на коренных зубах, сходное строение гортани и др.

Сроки полового созревания и продолжительность беременности у человекообразных обезьян почти такие же, как у человека.

Исключительно близкое сходство отмечается по биохимическим показателям: четыре группы крови, сходные реакции белкового обмена, заболевания. Неслучайно человекообразные обезьяны — незаменимые экспериментальные животные для изучения многих болезней человека. Человек и антропоиды близки также по числу хромосом (46 хромосом у человека, 48 — у шимпанзе, гориллы, орангутана), по их форме и размерам. Много общего в первичной структуре таких важнейших белков, как гемоглобин, миоглобин и др.

Однако между человеком и антропоидами есть и существенные различия, в большей степени обусловленные приспособленностью человека к прямохождению. Позвоночник человека S-образно изогнут, стопа имеет свод, что смягчает сотрясение при ходьбе и беге (рис. 45). При вертикальном положении туловища таз человека принимает на себя давление внутренних органов. Вследствие этого строение его существенно отличается от таза антропоидов: он низкий и широкий, прочно сочленен с крестцом. Имеются существенные отличия и в строении кисти. Большой палец руки человека хорошо развит, сильно противопоставляется остальным и очень подвижен. Благодаря такому строению кисти

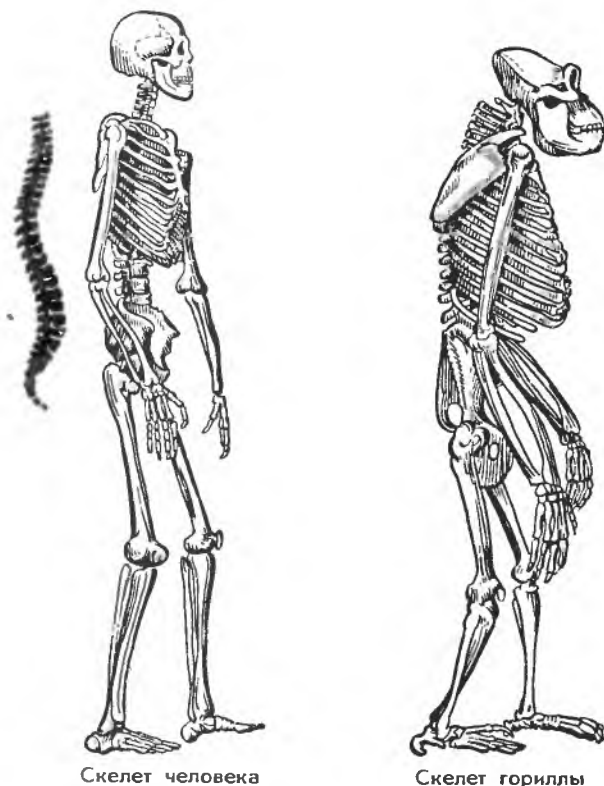


Рис. 45. Изменения скелета человека, связанные с прямохождением: положение черепа у человека и обезьяны; у человека развиты S-образная форма позвоночника и куполообразная стопа

рука способна к разнообразным и тонким движениям. У антропоидов в связи с древесным образом жизни кисти рук крюкообразные, а тип стопы хватательный. При вынужденном передвижении по земле человекообразные обезьяны опираются на наружный край стопы, сохраняя равновесие с помощью передних конечностей. Даже горилла, которая ходит на всей стопе, никогда не находится в полностью выпрямленном положении.

Различия антропоидов и человека наблюдаются также в строении черепа и мозга. Череп человека не имеет костных гребней и сплошных надбровных дуг, мозговая часть преобладает над лицевой, лоб высокий, челюсти слабые, клыки маленькие, на нижней челюсти имеется подбородочный выступ. У обезьян, наоборот, сильно развита лицевая часть, особенно челюсти. Мозг человека в 2—2,5 раза больше мозга человекообразных обезьян. Теменные, височные и лобные доли, в которых расположены важнейшие центры психических функций и речи, сильно развиты.

Существенные признаки отличия приводят к мысли, что современные человекообразные обезьяны не могли быть прямыми предками человека. В таком случае, что представляли собой предки современного человека и современных высших человекообразных обезьян?

Ч. Дарвин о происхождении человека. Биологическую теорию происхождения человека разработал Ч. Дарвин. В книгах «Происхождение человека и половой отбор», «О выражении эмоций у человека и животных» (1871—1872) он приходит к выводу, что человек — неотъемлемая часть живой природы и что его возникновение не исключение из общих закономерностей развития органического мира. Распространив на человека основные положения эволюционной теории, Ч. Дарвин проблему происхождения человека ввел в русло естественнонаучных исследований. Прежде всего он доказал происхождение человека «от нижестоящей животной формы». Тем самым человек был включен в общую цепь эволюционных изменений живой природы, протекавших на Земле в течение сотен миллионов лет. Однако Ч. Дарвин этим не ограничился. На основании сравнительно-анатомических, эмбриологических данных, указывающих на огромное сходство человека и человекообразных обезьян, он обосновал идею их родства, а следовательно, и общности их происхождения от древнего исходного предка. Так родилась *симиальная (обезьянья) теория антропогенеза*.

Согласно названной теории человек и современные антропоиды произошли от общего предка, жившего в эпоху неогена и представляющего собой, по мнению Ч. Дарвина, ископаемое обезьяноподобное существо. Немецкий ученый Э. Геккель назвал недостающую переходную форму *питекантропом* (обезьяночеловеком). В 1891 г. голландский антрополог Э. Дюбуа открыл на острове Ява части скелета человекоподобного существа, которое он назвал питекантропом прямоходящим. За истекшее столетие были сделаны выдающиеся открытия, в результате которых обнаружены многочисленные костные остатки ископаемых существ — промежуточных между обезьяньим предком и современным человеком. Таким образом, справедливость симиальной теории антропогенеза Ч. Дарвина подтвердилась прямыми (палеонтологическими) доказательствами.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Какие факты, кроме приведенных в учебнике, доказывают животное происхождение человека?
2. Почему нельзя считать современных человекообразных обезьян предками человека?
3. В чем заключается различие между человеком и антропоидными обезьянами? Заполните таблицу (с. 186):
4. В чем сущность симиальной теории Дарвина?

Часть тела	Морфологические признаки	
	человека	антропоидов
Головной мозг Лицо Челюсти Клыки Позвоночный столб Туловище Стопа Кисти передних конечностей		

ИСКОПАЕМЫЕ ПРИМАТЫ

В дарвиновский период в науке существовал разрыв в научных данных о человекообразных обезьянах второй половины третичного периода и возникших много миллионов лет спустя людях современного физического типа. Благодаря усилиям ученых разных стран этот разрыв заполнился. Найдены костные остатки ископаемых предков человека, позволяющие считать, что формирование его как биологического вида прошло четыре основных этапа эволюции в пределах семейства гоминид: предшественники человека, древнейший человек, древний человек, человек современного типа.

Дриопитеки — древнейшие предки человека. Примерно 25 млн. лет назад от высших узконосых обезьян (гоминоидов) отделились две ветви, которые привели к образованию двух семейств: *понгид*, или высших человекообразных обезьян, и *гоминид*, давших начало возникновению человека. Общими предками гориллы, шимпанзе, орангутана были ископаемые человекообразные обезьяны — *дриопитеки*, распространенные в миоцене на юге Азии, Европы и в Африке. От большинства из них сохранились только зубы и фрагменты челюстей, исследование которых показало, что дриопитеки имели сходство как с человекообразными обезьянами, так и с человеком. Это и дало основание считать их исходной предковой формой понгид и гоминид. Понгидная (обезьянья) ветвь эволюции пошла в направлении все большего приспособления к древесному образу жизни и привела к возникновению современных высших человекообразных обезьян. Другая ветвь — гоминидная (человеческая) — развилась в направлении приспособления к наземному образу жизни и привела к человеку.

В пользу столь раннего расхождения понгидной и гоминидной ветвей свидетельствуют обнаруженные на севере Индии остатки ископаемых человекообразных обезьян, названных *рамапитеками*

(по имени индийского бога Рамы). Рамапитеки жили в конце миоцена или в начале плиоцена, примерно 12—14 млн. лет назад. От них сохранились тоже лишь зубы да обломки челюстей. Но судя по строению зубов, они принадлежали к существам, более сходным с человеком, чем с современными человекообразными обезьянами. Можно предположить, что они находились на гоминидной ветви эволюции.

Важнейшим условием превращения ископаемой человекообразной обезьяны в человека было возникновение прямохождения и освобождение в связи с этим передних конечностей от функций опоры тела и передвижения. Без этого не могла возникнуть трудовая деятельность, а следовательно, не мог бы появиться человек. Вероятно, непосредственными предшественниками человека должны были быть высокоразвитые двуногие человекообразные обезьяны.

Стадия австралопитеков — начало превращения животных в человека. В 1924 г. в пустыне Калахари в Южной Африке, в одной из каменоломен были обнаружены кости черепа неизвестного существа. Анатом Р. Дарт установил, что они принадлежат детенышу ископаемой человекообразной обезьяны, названной позднее *австралопитеком* (от лат. *аустралис* — *южный* и греч. *питекос* — *обезьяна*).

В последующие несколько десятков лет в Южной Африке было обнаружено большое количество скелетных остатков (черепов, челюстей, костей таза и конечностей) австралопитековых.

По большинству признаков черепа, зубов и других частей скелета австралопитековые гораздо ближе к человеку, чем любая из современных человекообразных обезьян. Так, их череп был сравнительно крупным, с более укороченным лицевым отделом, клыки не выступали за уровень соседних зубов и были невелики по размерам.

Самой замечательной особенностью австралопитеков была их двуногая походка, о чем говорит сходство строения их тазовых костей с человеческими. *Прямохождение* — важнейшее событие, которое произошло на гоминидной линии эволюции и в значительной степени обусловлено экологической обстановкой (рис. 46).

Австралопитековые жили не в лесу, подобно современным антропоидам, а на открытой местности типа саванны. Они представляли собой небольшие, медлительные и беззащитные перед хищниками существа. Вот почему им было важно заблаговременно увидеть приближающегося врага. Способность встать прямо и оглядеться оказалась для них жизненно необходимой. Большое значение прямохождение имело и для охоты. Для обезьянолюдей большое значение имели глаза: высоко поднимая голову и вглядываясь вдаль, можно было узнать гораздо больше, чем обнюхивая клочок пыльной травы. Мартышки гусары, обитающие в степных областях, придерживаются именно такой тактики и при малейшей тревоге становятся на задние ноги. Поза «столбиком»

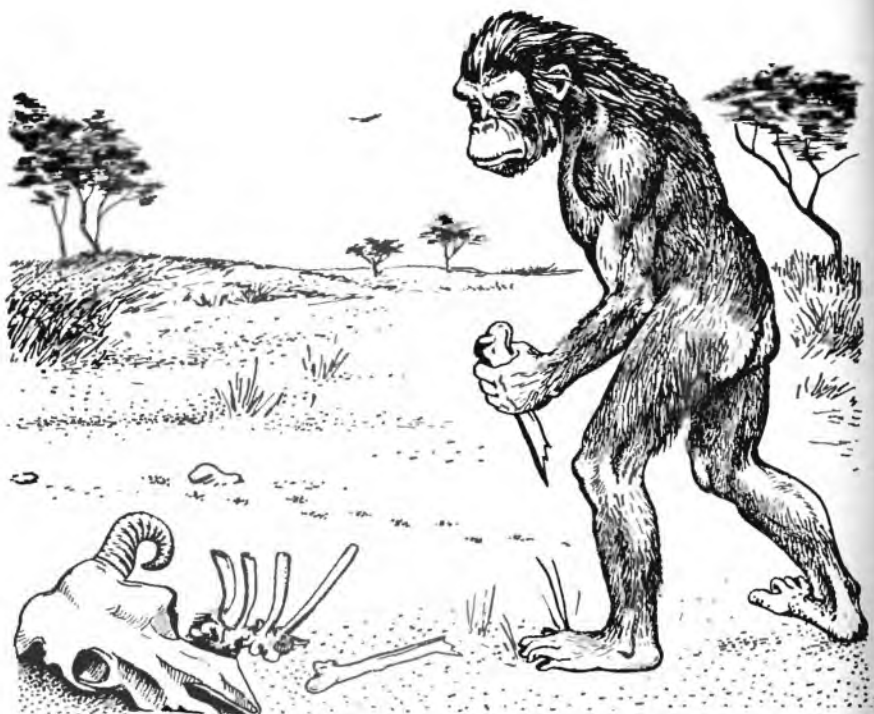


Рис. 46. Австралопитек

весьма характерна и для других жителей степей и пустынь, например для сусликов, сурков, некоторых видов хомяков.

Выпрямившись, обезьянолюди могли защищаться от хищников, швыряя камни и размахивая палками, а также использовать природные предметы как орудия добывания пищи. Найденные в пещерах австралопитековых кости копытных животных, в особенности антилоп, говорят о том, что они активно охотились и употребляли мясную пищу. Переход к мясной пище сыграл огромную роль в дальнейшей эволюции приматов. Ф. Энгельс отмечал, что «...человек не мог бы стать человеком без мясной пищи, и если в то или иное время употребление мясной пищи у всех известных народов влекло за собой даже людоедство... то сегодня это нас не касается». В настоящее время известно, что мясная пища доставляет организму необходимые аминокислоты (например, лизин, количество которого в большинстве видов злаков, за исключением риса, ничтожно). Для обеспечения необходимого минимума аминокислот животное было бы вынуждено непрерывно поедать растительную пищу. Такая жизнь не может способствовать совершенствованию организма и развитию разума.

Итак, двуногие приматы постепенно отвоевывали себе место

в сообществе животных на открытых пространствах и вплотную подошли к человеческому рубежу. Но являются ли австралопитековые непосредственными предками древнейшего человека?

На пути научного исследования часто возникают неожиданные препятствия. В данном случае они были связаны с геологическим возрастом австралопитековых. К концу 50-х годов нашего века многие геологи и палеонтологи полагали, что возраст австралопитековых не превышает 1 млн. лет. Примерно такая же древность приписывалась питекантропам и синантропам, которые, бесспорно, были древнейшими людьми. Значит, австралопитековые оказались современниками древнейших людей и поэтому не могли быть их предками. Это дало повод для предположения о том, что австралопитековые — тупиковая ветвь эволюции, не приведшая к человеку, иначе сказать, «неудачная попытка» очеловечения.

Однако мнение решительно изменилось в связи с целым рядом открытий, сделанных в Восточной Африке за последние 20—30 лет. В 1959 г. английский геолог, палеонтолог и антрополог Л. Лики в Олдувайском ущелье (Танзания) обнаружил остатки ископаемого примата, сходного с австралопитековыми, которого он назвал *зинджантропом* (Зиндж — арабское название Восточной Африки, антропос — по-гречески «человек»). Абсолютный возраст горизонта, в котором залегала находка, по данным радиоизотопного анализа, равнялся 1,75 млн. лет. Но уже в следующем году, продолжая раскопки в Олдувайском ущелье, Л. Лики в более глубоком горизонте обнаружил остатки существа более развитого чем зинджантроп, которого он условно назвал *презинджантропом*, т. е. предшественником зинджантропа. Абсолютный возраст презинджантропа составляет 2 млн. лет. Последующие находки презинджантропа были обнаружены в одном горизонте с остатками зинджантропа. Скелетные остатки презинджантропа сопровождались значительным количеством орудий галечной (олдувайской) культуры. В связи с этим презинджантропу было дано название *Номо habilis* (*человек умелый*).

В последние годы открытия в Восточной Африке, следовавшие одно за другим, рассеяли сомнения относительно места австралопитековых в родословной человека. В Эфиопии, в долине реки Омо экспедиция при участии Л. Лики и его сына Р. Лики (1967—1971) обнаружила остатки австралопитековых в горизонте возрастом до 4 млн. лет, т. е. вдвое древнее открытых в Олдувайском ущелье. В 1970 г. в Кении (местность Лотагам) американская экспедиция обнаружила фрагмент нижней челюсти австралопитека феноменальной древности — в 5,5 млн. лет! Это пока древнейшая находка австралопитековых на земном шаре. Одна из самых интересных находок была сделана в Эфиопии (600 км от Аддис-Абебы) в 1973—1976 гг. Это знаменитая Люси — почти полный скелет женской особи австралопитека, возрастом 3,1 млн. лет. Эти и многие другие удивительные открытия в Восточной Африке убе-

дительно свидетельствуют о том, что древние представители австралопитековых жили уже в конце третичного периода, т. е. более 5 млн. лет назад, и период их существования охватывает промежуток в 4 млн. лет. Возможно, что древние австралопитеки — предки не только всех прочих австралопитековых, но также человека умелого, а через него и всех более поздних представителей человеческого рода.

Проблема грани. Большинство исследователей считают, что на основе анализа физического строения наших предков грань между ископаемой человекообразной обезьяной, находившейся на пути превращения в человека, и человеком, едва выделившимся из животного состояния, провести нельзя. Это объясняется не отсутствием тонких методов, которые позволили бы установить морфологические различия, а тем, что высокоразвитые человекообразные обезьяны и древнейший человек почти не различались между собой морфологически. Единственным надежным критерием «человечности» ископаемого примата могут служить следы его деятельности в виде орудий труда.

Человек отличается от всех животных тем, что создает и применяет орудия труда, с помощью которых изменяет среду своего обитания, делает ее более благоприятной для себя. Данный критерий, философски обобщенный Ф. Энгельсом в работе «Роль труда в процессе превращения обезьяны в человека», стал общепризнанным как среди советских, так и среди зарубежных исследователей.

Современная археология палеолита располагает методами исследования, позволяющими отделить даже самое бесформенное древнейшее каменное орудие, обработанное человеком, от псевдоорудия.

Основным материалом для изготовления орудий в палеолите был кремень. В природе нет другого материала, такого же распространенного и обладающего такими же ценными для первобытной техники качествами: твердостью и способностью раскалываться. Там, где кремень отсутствовал или был труднодоступен, человек изготавливал орудия из кварцита, вулканического стекла и других материалов. Известный палеонтолог Г. Осборн еще в начале нашего века высказал предположение, что изготовлению каменных орудий у наших предков предшествовал период изготовления орудий из дерева и костей крупных животных. Однако эти орудия, в отличие от каменных, практически не сохранились до наших дней.

Дошедшие до нас наиболее древние каменные орудия, изготовленные из гальки, обнаружены вместе с остатками костей человека умелого (презинджантропа Л. Лики) в горизонте возрастом до 3 млн. лет. Это дает основание считать человека умелого творцом очень ранней культуры каменного века — галечной, или олдувайской.

Человек умелый переступил порог от употребления природных

объектов в качестве орудий к их искусственному изготовлению. На основе этого большинство исследователей считают его древнейшим из ныне известных обезьяноподобных людей, выделившихся из животного состояния.

Тот факт, что остатки человека умелого встречаются вместе с австралопитековой обезьяной, названной Л. Лики зинджантропом, позволяет предположить, что зинджантроп являлся охотничьей добычей *Homo habilis*, подобно другим животным, разбитые кости которых залегают в том же слое, что и остатки человека умелого.

Судя по ископаемым остаткам, человек умелый мало отличался от австралопитековых. Объем его мозга составлял 650—680 см³, что всего на 150 см³ превышает среднюю величину объема мозга австралопитековых. Человек умелый был немного выше, его рост достигал 135—150 см, осанка была, возможно, чуть прямее. Отчетливые морфологические отличия, вызванные трудовой деятельностью, появились лишь спустя очень большой промежуток времени, накопившись через многие поколения.

Таким образом, можно предположить, что первыми людьми на Земле были двуногие высокоразвитые приматы, сделавшие первые искусственные орудия труда.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Какие особенности строения и образа жизни помогли австралопитековым выжить в борьбе за существование?
2. Можно ли считать прямохождение достаточным критерием очеловечения?
3. Можно ли провести грань между обезьянами и древнейшими людьми?
4. Приведите доказательства того, что австралопитековые являются предками более поздних представителей человеческого рода.

ДРЕВНЕЙШИЕ ЛЮДИ

Спустя более миллиона лет после возникновения первых людей типа *Homo habilis* на Земле появились древнейшие люди *Homo erectus* — человек прямоходящий (рис. 47). Это питекантропы, синантропы, гейдельбергский человек и другие формы.

Остатки древнейших людей. Открытие Э. Дюбуа на острове Ява *питекантропа* — «недостающего звена» в родословной человека — было триумфом материалистической науки. Раскопки на Яве были возобновлены в 30-х, а затем в 60-х годах нашего столетия. В результате обнаружены костные остатки нескольких десятков питекантропов, в том числе не менее девяти черепов. Наиболее древние из яванских питекантропов, судя по новейшим датировкам, имеют возраст — 1,5—1,9 млн. лет.

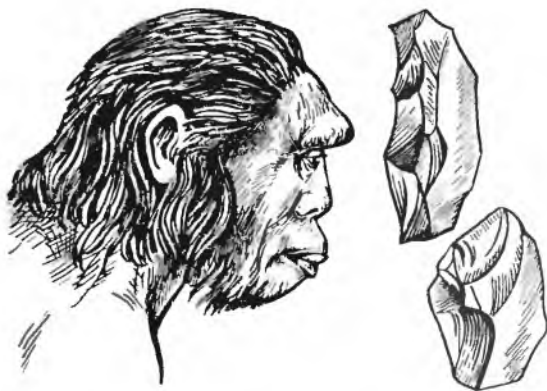


Рис. 47. Человек прямоходящий (питекантроп)

Один из наиболее известных и выразительных представителей питекантропов — *синантроп*, или *китайский питекантроп*. Остатки синантропа открыты на севере Китая у селения Чжоу-Гоу-Дянь, в 50 км от Пекина. Синантропы жили в большой пещере, которую они занимали, вероятно, сотни тысячелетий (только за такое длительное время здесь могли накопиться отложения мощностью до 50 м). В отложениях найдено много грубых каменных орудий. Интересно, что орудия, найденные в основании толщи, не отличаются от других орудий, обнаруженных в ее самых верхних слоях. Это свидетельствует об очень медленном развитии техники в начале человеческой истории. Синантропы поддерживали в пещере огонь.

Синантроп был одним из самых поздних и наиболее развитых древнейших людей; он существовал 300—500 тыс. лет назад.

В Европе достоверные и обстоятельно изученные костные остатки древнейших людей, близких по времени синантропу, найдены в четырех местах. Наиболее известная находка — массивная челюсть *гейдельбергского человека*, обнаруженная недалеко от г. Гейдельберга (ФРГ).

Питекантропы, синантропы, гейдельбергский человек имели много общих черт и представляли собой географические варианты одного вида (рис. 48). Поэтому известный антрополог Ле Гро Кларк объединил их одним общим названием — *Homo erectus* (*человек прямоходящий*).

Человек прямоходящий. От своих предшественников человек прямоходящий отличался ростом, прямой осанкой, человеческой походкой. Средний рост синантропов составлял около 150 см у женщин и 160 см у мужчин. Питекантропы Явы достигали 175 см. Рука древнего человека была более развитой, а стопа приобрела небольшой свод. Кости ног изменились, бедренный сустав сдвинулся к центру таза, позвоночник получил некоторый изгиб, что уравновешивало вертикальное положение туловища. Исходя из этих

прогрессивных изменений в телосложении и росте древнейший человек и получил свое название — человек прямоходящий.

Номо erectus еще отличался от современного человека некоторыми существенными чертами: низким покатым лбом с надглазничными валиками, массивной, со скошенным подбородком и выступающей челюстью, плоским небольшим носом. Однако, как заметил один антрополог, они были первыми приматами, о которых, увидя их, вы сказали бы: «Это не человекообразные обезьяны, это, несомненно, люди».

От прочих приматов, своих предшественников, человек прямоходящий больше всего отличался размерами и значительным усложнением структуры мозга и, как следствие этого, — более сложным поведением. Объем мозга составлял 800—1400 см³, наиболее развиты были доли мозга, управляющие высшей нервной деятельностью. Левое полушарие было больше правого, что, вероятно, обязано более сильному развитию правой руки. Эта типично человеческая черта, обусловленная производством орудий, особенно сильно развита у синантропа.

Охота — основа нового образа жизни. Кости животных, орудия охоты, обнаруженные на стоянках древнейших людей, свидетельствуют о том, что это были терпеливые и предусмотрительные охотники, умевшие упорно ждать в засаде у звериной тропы и совместно устраивать облавы на газелей, антилоп и даже гиган-

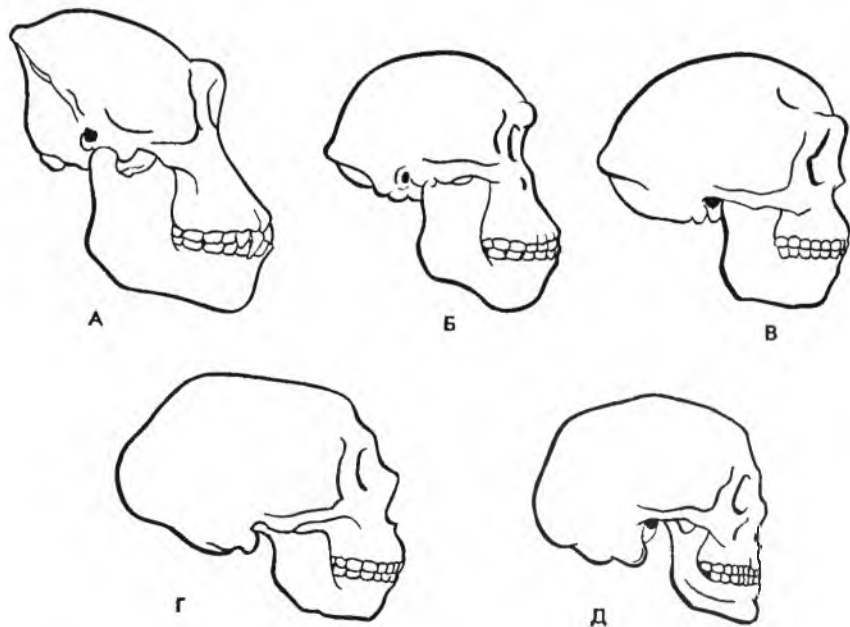


Рис. 48. Сравнение черепов гориллы (А), питекантропа (Б), синантропа (В), неандертальца (Г), человека современного типа (Д)

тов саванн — слонов. Такие облавы требовали не только большой сноровки, но и использования приемов охотничьей хитрости, основанной на знании повадок животных. Орудия для охоты человек прямоходящий изготавливал много искуснее своих предшественников. Некоторым из оббитых им камней тщательно придавалась нужная форма: заостренный конец, режущие края по обеим сторонам, размер камня подбирался точно по руке.

Но особенно важно, что человек прямоходящий умел замечать сезонные миграции животных и охотился там, где можно было рассчитывать на обильную добычу. Он научился запоминать ориентиры и, уйдя далеко от стоянки, находить путь обратно. Охота постепенно перестала быть делом случая, а планировалась древними охотниками. Необходимость следовать за кочующей дичью оказала глубокое воздействие на образ жизни человека прямоходящего (табл. 14). Он волей-неволей попадал в новые места обитания, набирался новых впечатлений и расширял свой опыт.

На основании особенностей строения черепа и шейного отдела позвоночника древнейших людей установлено, что их голосовой аппарат был не таким большим и гибким, как у современного человека, однако позволял издавать гораздо более сложные звуки, чем бормотание и визги современных обезьян. Можно предположить, что человек прямоходящий «говорил» очень медленно и с трудом. Главное, что он научился общаться при помощи символов и обозначать предметы комбинациями звуков. Значительную роль как средство общения между древнейшими людьми играли, вероятно, мимика и жесты. (Человеческое лицо очень подвижно, мы и теперь без слов понимаем эмоциональное состояние другого человека: восторг, радость, отвращение, гнев и т. д., — а также способны выражать конкретные мысли: соглашаться или отрицать, приветствовать, подзывать и др.)

Коллективная охота требовала не только речевого общения, но и способствовала развитию социальной организации, которая имела явно человеческий характер, так как опиралась на разделение труда между мужчинами — охотниками и женщинами — собирателями пищи.

Использование огня — огромное завоевание древнейшего человека. В пещере Чжоу-Гу-Дянь, где найдены остатки синантропов и их многочисленные каменные орудия, обнаружены и следы огня: угли, пепел, обгоревшие камни. Очевидно, первые очаги горели более 500 тыс. лет назад. Умение пользоваться огнем позволило сделать пищу более усвояемой. К тому же жареную пищу легче жевать, а это не могло не отразиться на внешнем виде людей: исчезло давление отбора, направленное на поддержание мощного челюстного аппарата. Постепенно зубы начали уменьшаться, нижняя челюсть уже не так выдавалась вперед, массивная костная структура, требовавшаяся для прикрепления мощных жевательных мышц, перестала быть необходимой. Лицо человека постепенно приобретало современные черты.

Огонь не только во много раз расширил источники питания, но и дал человечеству постоянную и надежную защиту от холода и от диких зверей. С появлением огня и очага возникло совершенно новое явление — пространство, строго предназначенное для людей. Собираясь у костра, несущего тепло и безопасность, люди могли изготавливать орудия труда, есть и спать, общаться друг с другом. Постепенно укрепилось ощущение «дома», места, где женщины могли ухаживать за детьми и куда мужчины возвращались с охоты.

Огонь сделал человека независимым от климата, позволил расселиться по поверхности Земли, сыграл важнейшую роль в совершенствовании орудий труда.

Несмотря на широкое использование огня, человек прямоходящий очень долго не мог научиться добывать его, а может быть, до конца своего существования так и не постиг этого секрета. «Огненные камни», например кремний и железный колчедан, среди культурных остатков человека прямоходящего не найдены.

На этом этапе эволюции человека под контролем естественного отбора продолжают еще находиться многие физические особенности древнейших людей, связанные в первую очередь с развитием мозга и совершенствованием прямохождения. Однако наряду с биологическими факторами эволюции начинают зарождаться новые, социальные закономерности, которые со временем станут главнейшими в существовании человеческого общества.

Использование огня, охотничьи странствия, развитие способности к общению в какой-то мере подготовили распространение человека прямоходящего за пределы тропиков. Из Юго-Восточной Африки он перебрался в долину Нила, а оттуда на север по Восточному побережью Средиземного моря. Его останки найдены еще восточнее — на острове Ява и в Китае. Каковы границы прародины человечества, той территории, где совершилось выделение человека из животного состояния?

Прародина человечества. В пользу африканской прародины человечества свидетельствуют многочисленные находки на юге и особенно на востоке Африки очень древних (до 5,5 млн. лет) остатков австралопитековых, человека умелого и древнейших каменных орудий. Существенное значение имеет и тот факт, что в Африке обитают наиболее близкие к человеку антропоиды — шимпанзе и горилла. Ни в Азии, ни в Европе до сих пор не обнаружено такого полного эволюционного ряда приматов, как в Восточной Африке.

В пользу Южно-Азиатской прародины говорят находки дриопитеков и рамапитеков в Индии и Пакистане, остатки ископаемых человекообразных обезьян, близких к австралопитекам, обнаруженные в Южном Китае и на севере Индии, а также останки древнейших людей — питекантропов и синантропов.

Вместе с тем находки ископаемых остатков древнейших людей, сделанные в Германии, Венгрии, Чехословакии, свидетельствуют в

пользу включения юга Европы в границы расселения древнейших людей. Об этом же говорит открытие в гроте Валлоне на юго-востоке Франции остатков охотничьего лагеря, имеющего древность до 700 тыс. лет. Огромный интерес представляет недавняя находка на северо-востоке Венгрии остатков рамапитековых обезьян, находившихся на пути гоминизации.

Итак, многие исследователи не отдают предпочтение ни одному из трех названных материков, считая, что превращение человекообразных обезьян в людей происходило в процессе их активного приспособления к самым разным и меняющимся условиям внешней среды. Вероятно, прародина человечества была довольно обширной, включала значительную территорию Африки, Южной Европы, Южной и Юго-Восточной Азии. Новые открытия костных остатков наших предков постоянно заставляют расширять границы предполагаемой прародины человечества. Следует отметить, что Америка и Австралия были заселены проникшими из Азии людьми современного физического типа не ранее 30—35 тыс. лет назад.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Какие представители древнейших людей нам известны? Где обнаружены их остатки?
2. Используя рисунок 47, охарактеризуйте строение, особенности жизни человека прямоходящего.
3. Какие социальные закономерности начинают проявляться на стадии эволюции древнейших людей?
4. Раскройте значение огня в антропогенезе.
5. Какую гипотезу о прародине человечества вы предпочитаете?

ДРЕВНИЕ ЛЮДИ

Около 300 тыс. лет назад на территории Старого Света появились древние люди. Их называют *неандертальцами*, так как впервые остатки людей этого типа были найдены в ФРГ в долине Неандерталь вблизи Дюссельдорфа.

Неандерталец: его находки, особенности физического типа. Первые находки неандертальцев относятся еще к середине XIX в. и долгое время не привлекали внимание ученых. О них вспомнили только после выхода в свет книги Ч. Дарвина «Происхождение видов». Противники естественного происхождения человека отказывались видеть в этих находках остатки ископаемых людей, более примитивных, чем современный человек. Так, известный ученый Р. Вирхов считал, что костные остатки из долины Неандерталь принадлежат современному человеку, страдавшему рахитом и артритом. Сторонники Ч. Дарвина доказывали, что это ископаемые люди большой древности. Дальнейшее развитие науки подтвердило их правоту.

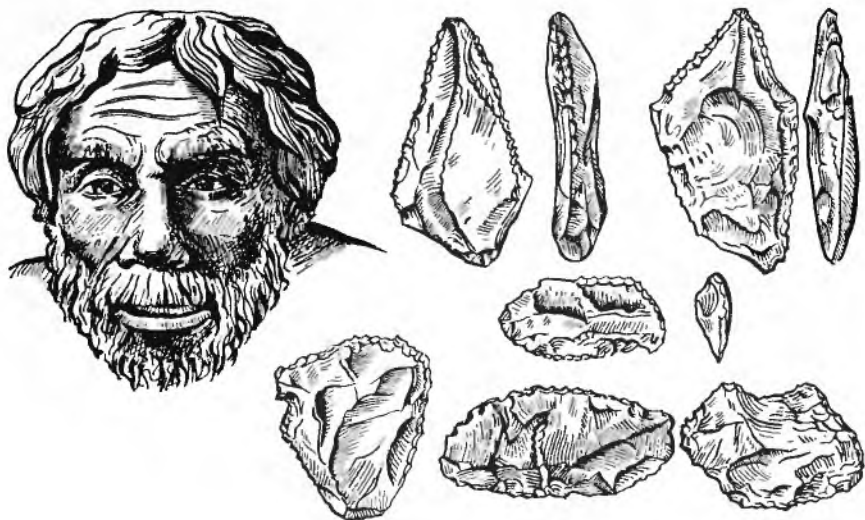


Рис. 49. Классический неандерталец

В настоящее время на территории Европы, Африки, Южной и Восточной Азии известно свыше 100 находок древних людей. На территории СССР костные остатки неандертальцев обнаружены в Крыму, в пещере Киик-Коба и в Южном Узбекистане, в пещере Тешик-Таш.

Физический тип неандертальца не был однородным, застывшим и объединял в себе как черты предшествующих форм, так и предпосылки к дальнейшему развитию. В настоящее время выделяют несколько групп древних людей. До 30-х годов нашего столетия хорошо были изучены поздние западноевропейские, или *классические, неандертальцы* (рис. 49). Они характеризуются низким покатым лбом, мощным надглазничным валиком, сильно выступающим вперед лицом, отсутствием подбородочного выступа, крупными зубами. Рост их достигал 156—165 см, мускулатура была необычайно развита, на что указывает массивность костей скелета; крупная голова как бы втянута в плечи. Классические неандертальцы жили 60—50 тыс. лет назад. Существует гипотеза о том, что классические неандертальцы в целом были боковой ветвью эволюции, не имевшей прямого отношения к возникновению человека современного типа.

К настоящему времени накопились богатые сведения о других группах древних людей. Стало известно, что от 300 до 700 тыс. лет назад жили ранние западноевропейские неандертальцы, имевшие более прогрессивные по сравнению с классическими неандертальцами морфологические признаки: относительно высокий свод черепа, менее покатый лоб, менее выступающее вперед лицо и др. От них, вероятно, произошли так называемые *прогрес-*

сивные неандертальцы, возраст которых около 50 тыс. лет. Судя по ископаемым костным остаткам, найденным в Палестине, Иране, древние люди этого типа были морфологически близки к современному человеку. Прогрессивные неандертальцы имели высокий свод черепа, высокий лоб, на нижней челюсти — подбородочный выступ. Объем их мозга почти не уступал мозгу современного человека. Слепки внутренней полости черепа свидетельствуют о том, что у них произошло дальнейшее разрастание некоторых специфических для человека зон коры больших полушарий, а именно тех, которые связаны с членораздельной речью и тонкими движениями. Это позволяет сделать предположение об усложнении у людей этого типа речи и мышления.

Все перечисленные факты дают основание считать неандертальцев переходной формой между древнейшими людьми типа *Homo erectus* и людьми современного физического типа (рис. 50). Другие группы, видимо, были боковыми, вымершими ветвями эволюции. Вероятно, прогрессивные неандертальцы были непосредственными предками *Homo sapiens*.

Виды деятельности неандертальца. Еще в большей степени, чем костные остатки, о генетической связи неандертальцев с современными людьми свидетельствуют следы их деятельности.

По мере того как численность неандертальцев увеличивалась, они распространялись за пределы областей, где обитал их предшественник — человек прямоходящий, в края нередко более холодные и суровые. Способность противостоять Великому оледенению говорит о значительном прогрессе неандертальцев по сравнению с древними людьми.

Каменные орудия неандертальцев были более разнообразны по назначению: остроконечники, скребла и рубила. Однако с помощью таких орудий неандерталец не мог обеспечить себя в достаточном количестве мясной пищей, а глубокие снега и продолжительные зимы лишали его съедобных растений и ягод. Поэтому основным источником существования древних людей была коллективная облавная охота (табл. 16). Неандертальцы охотились более планомерно и целенаправленно и более крупными группами, чем их непосредственные предшественники. Среди окаменевших костей, найденных в остатках неандертальских костров, встречаются кости северных оленей, лошадей, слонов, медведей, зубров и таких ныне вымерших гигантов, как шерстистые носороги, туры, мамонты.

Древние люди умели не только поддерживать, но и добывать огонь. В теплом климате они селились по берегам рек, под навесами скал, в холодном — в пещерах, которые им часто приходилось отвоевывать у пещерных медведей, львов, гиен.

Неандертальцы положили начало и другим видам деятельности, которые принято считать исключительно человеческими (табл. 15). У них возникло абстрактное понятие о загробной жизни. Они заботились о стариках и калеках, погребали своих

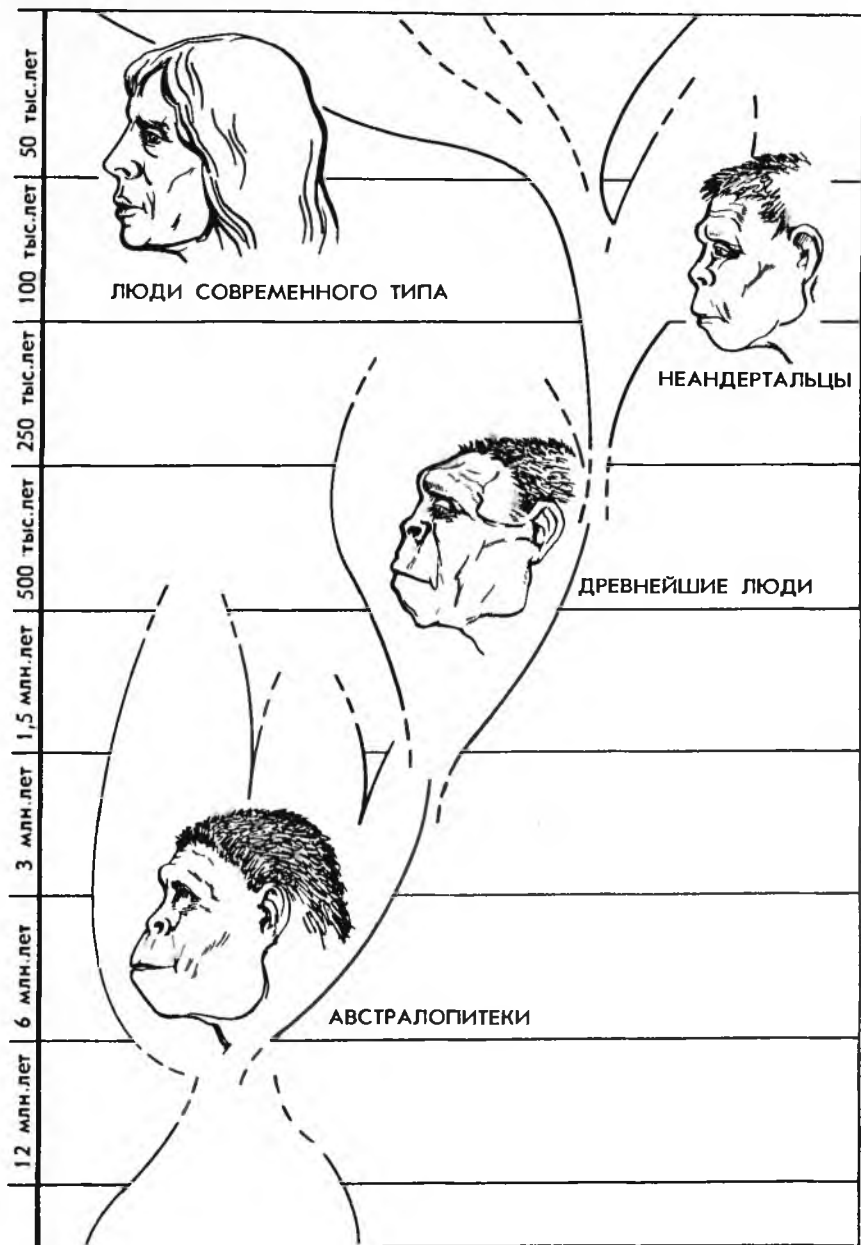


Рис. 50. Родословное древо австралопитеков и рода Homo

умерших. С великой надеждой на жизнь после смерти они зародили живущую и в наши дни традицию провожать в последний путь своих близких цветами и ветками хвойных деревьев. Не исключено, что они сделали первые робкие шаги в области искусства и символических обозначений.

Однако тот факт, что неандертальцы находили в своем обществе место для стариков и калек, еще не означает, что они представляли собой идеал доброты и самоотверженно любили своих ближних. Раскопки их стоянок приносят немало данных, которые свидетельствуют о том, что они не только убивали, но и поедали друг друга (найжены обугленные человеческие кости, черепа, раздробленные у основания). Но каким бы свидетельством дикости не представлялся каннибализм теперь, вероятно, он не преследовал чисто утилитарную цель. Голод приводил к каннибализму очень редко. Причины его носили скорее магический, ритуальный характер. Возможно, существовало убеждение, что, отведав плоти врага, человек обретает особую силу и мужество. А может, черепа хранили в качестве трофеев или как почитаемые реликвии, оставшиеся от умерших.

Итак, неандертальцы разрабатывали разнообразные приемы труда и охоты, позволившие человеку выстоять в эпоху Великого оледенения. До полного статуса современного человека неандертальцу не хватает совсем немного. Систематики относят его к виду *Homo sapiens*, т. е. к тому же виду, что и современного человека, но добавляя определение подвида — *neanderthalensis* — неандертальский человек. Название подвида указывает на некоторые отличия от полностью современного человека, теперь называемого *Homo sapiens sapiens* — человек разумный разумный.

Влияние биологических и социальных факторов на эволюцию неандертальцев. Борьба за существование и естественный отбор играли заметную роль в эволюции неандертальцев. Об этом говорит низкая средняя продолжительность жизни древних людей. По данным французского антрополога А. Валуа и советского антрополога В. П. Алексеева, из 39 неандертальцев, черепа которых дошли до нас и были изучены, 38,5% умерли в возрасте до 11 лет, 10,3% — в возрасте 12—20 лет, 15,4% — в возрасте 21—30 лет, 25,6% — в возрасте 31—40 лет, 7,7% — в возрасте 41—50 лет и только один человек — 2,5% — умер в возрасте 51—60 лет. Эти цифры отражают огромную смертность людей древнего каменного века. Средняя длительность поколения лишь немного превышала 20 лет, т. е. древние люди умирали, едва успев оставить потомство. Особенно велика была смертность женщин, что, вероятно, обусловлено беременностью и родами, а также гораздо более длительным пребыванием в антисанитарных жилищах (теснота, сквозняки, гниющие отбросы).

Характерно, что неандертальцы страдали травматическими повреждениями, рахитом и ревматизмом. Но те из древних людей, которым удалось выжить в крайне суровой борьбе, отличались

сильным телосложением, прогрессивным развитием мозга, руки и многими другими морфологическими признаками.

Хотя в результате большой смертности и малой продолжительности жизни период передачи накопленного опыта от одного поколения другому был очень коротким, влияние социальных факторов на развитие неандертальцев становилось все сильнее. Коллективные действия уже в первобытном стаде древних людей играли решающую роль. В борьбе за существование побеждали те группы, которые успешно охотились и лучше обеспечивали себя пищей, заботились друг о друге, имели меньшую смертность детей и взрослых, лучше преодолевали тяжелые условия жизни.

Сплочению выделившихся из животного состояния коллективов способствовали мышление и речь. Развитие мышления и речи было непосредственно связано с трудом. В процессе трудовой практики человек все более овладевал окружающей природой, все лучше познавал окружающий его мир.

Исчезновение неандертальца. Некоторые исследователи высказали предположение, что неандертальцы, эти реликты ледниковой эпохи, сумели продержаться в сердце Азии, в привычном для них суровом климате, и в настоящее время представляют собой легендарных снежных людей. Несмотря на увлекательность гипотезы, ее нельзя принимать всерьез. Рассказы об огромных следах на снегу, оставленных якобы снежным человеком, или гигантских фигурах, скрывающихся за скалой, не могут рассматриваться как весомые доказательства.

Неандертальцев нет на Земле уже очень давно. Они исчезли около 40 тыс. лет назад, сменившись людьми нового типа.

Некоторые антропологи объясняют исчезновение неандертальцев повсеместным закономерным превращением их в людей современного физического типа под влиянием не только биологических, но и социальных факторов, способных придать этому процессу небывалое в природе ускорение. Согласно другой точке зрения, о которой мы уже упоминали, потомками современных людей были прогрессивные неандертальцы, жившие в средней части обитаемого тогда мира (на территории Палестины и Ирана), на перекрестке всех потоков информации того времени. Палестинские неандертальцы были более близки к современному человеку физическим обликом. Иранские неандертальцы, так называемые «цветочные люди», из пещеры Шанидар, не будучи физически столь прогрессивными, как палестинские, отличались от них более высоким уровнем духовной культуры, человеческим гуманизмом.

Благодаря бракам между соседними группами древних людей шел обмен физическими и поведенческими чертами. Поскольку система таких браков к этому времени, по-видимому, уже установилась, эволюционный сдвиг в одном месте рано или поздно проявлялся во всем сообществе и огромная раздробленная масса человечества поднималась к современности как единое целое. При-

мерно 30 тыс. лет назад изменения в основном завершились и мир уже населяли люди современного физического типа.

Таким образом, многие группы неандертальцев вымерли, не дав потомства в результате конкурентной борьбы с человеком современного физического типа, эволюционно более продвинутым и социально более прогрессивным. Советский антрополог Я. Я. Рогинский высказал предположение, что человек современного типа сформировался в какой-то области Старого Света, а затем распространился к периферии своего исходного ареала, смешался с местными формами других людей.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. В чем проявляется неоднородность физического типа неандертальца?
2. Все ли неандертальцы эволюционировали к человеку современного типа?
3. Под влиянием каких факторов происходила эволюция неандертальцев?
4. Назовите, какие факторы способствовали исчезновению неандертальцев?

СОВРЕМЕННЫЕ ЛЮДИ

Ископаемые люди современного физического типа. Возникновение людей современного физического типа, сменивших древних людей, произошло относительно недавно, около 40 тыс. лет назад. Остатки ископаемых людей современного физического типа обнаружены в Европе, Азии, Африке, Австралии. В гроте Кроманьон во Франции было найдено сразу несколько их скелетов. По месту находки ископаемые люди современного типа были названы *кроманьонцами*. В нашей стране уникальные находки этих людей были сделаны около Воронежа и Владимира.

У кроманьонцев был высокой лоб, отсутствовал массивный надглазничный валик. Нижняя челюсть имела такой же, как у нас, подбородочный выступ. Этот признак связывают с развитием речевого аппарата. Объем мозга в основном не превосходил объем мозга неандертальца, но строение его было более совершенным, сильнее были развиты лобные доли. Кости скелета менее массивные и более тонкие, чем у неандертальца. У них вполне сформировались прямая походка и современная человеческая рука. В целом по своему физическому строению они почти не отличались от современных людей.

На протяжении десятков тысячелетий позднейшей человеческой истории, вплоть до настоящего времени, физическое строение человека уже не претерпевало заметных изменений. Вырабатывались новые трудовые навыки, новая культура, но строение чело-

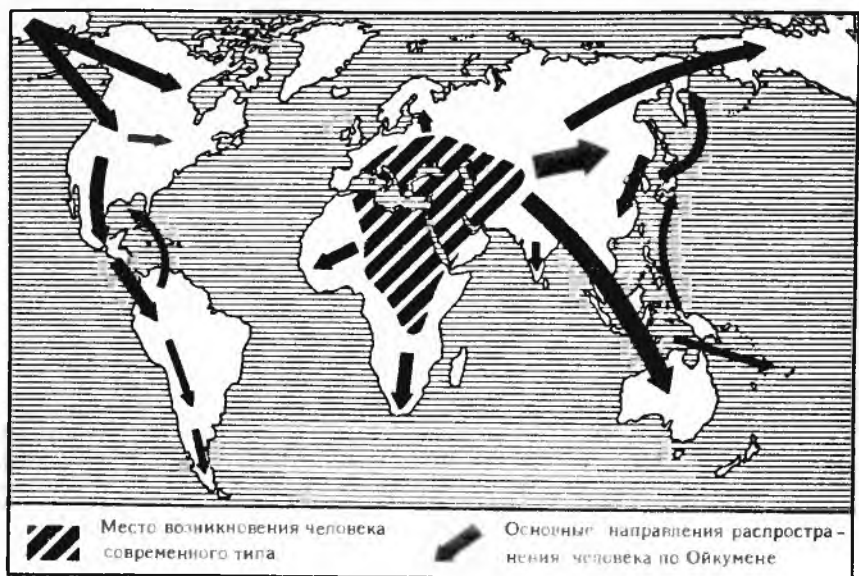


Рис. 51. Распространение человека по Ойкумене (около 50 тыс. лет назад)

веческих костей, мускулов, их взаимосвязанность оставались почти неизменными.

Время возникновения человека современного физического типа явилось, с точки зрения антропологов, также и временем возникновения различных человеческих рас. Возникнув в Передней Азии, люди современного типа широко расселились по Ойкумене¹. Одна ветвь расселения людей была направлена в Юго-Восточную, Восточную, Северо-Восточную Азию, Австралию, Океанию (рис. 51). Воспользовавшись возникшим 40—50 тыс. лет назад берингийским мостом — перешейком суши между Северной Америкой и Северной Азией, эта ветвь проникла в Новый Свет — сначала в Северную, затем в Южную Америку. Так образовалась азиатско-американская (монголоидная) раса.

В другом направлении расселение людей шло на юг — в Африку, где сформировалась экваториальная (австрало-негроидная) раса. Третье направление — в Европу и Западную Азию — дало начало формирования европеоидной расе. Однако, по данным молекулярных биологов, расчленение на монголоидную и индоевропеоидно-негроидную расы имеет возраст до 100—120 тыс. лет, а дивергенция на негроидную и индоевропеоидную расы произошла позднее — около 80 тыс. лет назад.

Культуру кроманьонцев (поздний палеолит) отличает огром-

¹ Ойкумена — совокупность областей земного шара, которые заселены человеком.

ное разнообразие форм орудий (ножи, копья, дротики, скребки, шилья, проколки и др.). Широко распространяются орудия из кости, техника изготовления каменных орудий усложняется. Разнообразие типов орудий говорит о сложной трудовой деятельности, в результате которой зависимость от природы уменьшалась. В это время человек умел сшивать шкуры животных и изготавливать из них одежду и жилье.

Возникновение искусства. О первом расцвете таланта кроманьонцев повествуют древние пещеры Европы. Рисунки пещеры Ласко во Франции имеют возраст 17 тыс. лет. Это был конец ледникового периода, и по рисункам в Ласко и других пещерах Франции видим, как ледниковая фауна (шерстистый носорог, мамонт, северный олень) постепенно замещается фауной умеренной зоны (дикий бык тур, зубр, благородный олень и т. д.). Пещера Альтамира в Испании покрыта фресками с изображениями оленей, зубров, туров. Люди смело проникали в черные туннели пещер, освещая дорогу огоньками каменных светильников с растопленным животным жиром. И там в отдаленных проходах и залах, добираться до которых приходилось часами и нередко ползком, они покрывали стены рисунками. В качестве красок использовали красную, коричневую и желтую охру, а для черного цвета — древесный уголь и марганцевую руду. Кисточками служили палочки с расщепленными на волокна концами, иногда рисунок просто выцарапывался. Изображались почти исключительно животные и даже целые охотничьи сцены; пейзаж полностью отсутствовал. Известны также костяные статуэтки людей, животных, украшения. Сравнительно недавно на Украине были открыты музыкальные инструменты из костей мамонта.

Точно неизвестно, что побуждало этих людей рисовать. Некоторые рисунки, возможно, входили в культовый обряд или имели магическое назначение: изображения животных как бы заклинали природу помочь в охоте на них, другие — обучали охоте.

Искусство, как общественный вид деятельности, оказало серьезное влияние на эволюцию человека, потому что в искусстве происходит ярчайшее сочетание труда, мышления и речи. Многие произведения искусства, видимо, просто удовлетворяли зарождающиеся эстетические потребности первобытных людей, рисование само по себе давало им радость.

Возникновение первобытных религиозных верований. Становление первобытного общества. У неандертальцев начала зарождаться вера в сверхъестественное. Есть свидетельства появления у них медвежьего культа. Черепа пещерных медведей служили фетишами, объектами колдовских действий, из которых впоследствии развились религиозные верования и обряды.

О сложившейся первобытной религии можно говорить, начиная с позднего палеолита. Одной из первых форм религии был анимизм — вера в душу, в загробную жизнь души; с ним тесно связаны тотемизм и магия.

О возникновении анимизма свидетельствуют определенное положение скелетов в захоронениях, сложный обряд захоронения. Так, в погребениях находят орудия труда, предметы вооружения, большое число бус, подвесок. Нередко покойника посыпали красной охрой, символизирующей кровь или огонь.

С возникновением родового строя возник тотемизм — форма религиозных верований, характерная для охотничье-собираческих племен. Наиболее полно тотемические верования описаны у австралийцев и североамериканских индейцев. Родовые группы носят имена тотемных животных, растений, с которыми связаны различные формы пищевых и охотничьих запретов. Если на тотема разрешается охота, то после нее в торжественной культовой обстановке приносятся ему извинения за то, что сегодня его убили, совершаются очистительные обряды. Тотемные животные почитаются, в их честь совершаются празднества, их кости, лапы, хвосты, головы считаются священными фетишами, наделенными сверхъестественными свойствами.

Важным элементом первобытной религии стала магия, основанная на убеждении, что подобное замещает подобное. «Пусть живой зверь будет так же пронзен копьем, как пронзено его изображение» — такова логика первобытной магии, о которой можно судить по наскальным изображениям бизонов, хищников, пронзенных копьями и гарпунами.

Первобытная религия — результат фантастического отражения в головах людей господствующих над ними сил природы.

В эпоху позднего палеолита завершается становление первобытного общества. Формируется матриархальное родовое общество. Широко распространяются женские статуэтки с подчеркнутыми признаками пола.

Итак, за последние 40 тыс. лет морфологический облик людей почти не изменился, тогда как культура их шагнула от каменных орудий до современной цивилизации. В предшествующий миллион лет культура не вышла за рамки древнего каменного века, а морфологический облик людей изменился от австралопитеков до людей современного типа. Иначе говоря, небольшие изменения в культуре сопровождались крупными изменениями в физическом облике людей. Это дает основание предположить, что человек сложился как биологический вид. Развитие его культуры перестало зависеть от морфологических изменений и стало всецело определяться социальными факторами.

Человек — биологическое и социальное существо. Человек, как и любой другой биологический вид, формировался в процессе эволюции и является результатом взаимосвязанного действия ее движущих сил. Он вышел из природы и остается ее частью. Организм человека развивается по общим для всех живых существ законам. Для поддержания жизнеспособности он нуждается в пище и кислороде. Как все живые организмы, он претерпевает изменения, растет, стареет и умирает. Процесс

размножения у людей протекает аналогично этому процессу в живой природе, а в основе передачи признаков вида по наследству лежат универсальные для всего живого генетические закономерности.

Однако человеческий организм — это еще не человек в социальном смысле. Ребенок, полностью изолированный от остальных людей, не научится говорить, его мышление не разовьется. Человек становится человеком только тогда, когда он развивается и живет в социальной среде. Это свидетельствует о том, что человек как качественно новое явление в природе, единственный вид на Земле вышел за пределы биологической эволюции.

У человека возникает особая, не связанная с генетическими механизмами форма связи между поколениями — преемственность традиций, культуры, науки, знаний. Все это стало возможным благодаря развитию абстрактного мышления, речи, трудовой деятельности. Опыт, накопленный человеком в индивидуальной жизни, не исчезает вместе с ним, а вливается в общечеловеческую культуру.

На первых этапах антропогенеза естественный отбор имел решающее значение. Под его действием формировались морфологические особенности организации человеческого типа (мозг, кисти рук, прямохождение). При этом сначала шел отбор индивидуумов, более способных к изготовлению примитивных орудий для добычи пищи и защиты от врагов. Затем отбор расширил сферу действия, объектом его стали не только отдельные индивидуумы, но и лучше организованные целые группы (семьи или несколько семей) и даже целые племена.

Овладев культурой изготовления совершенных орудий труда, воспроизводством пищи, устройством жилищ, человек изолировал себя от неблагоприятных климатических факторов настолько, что вышел из-под жесткого контроля естественного отбора и в значительной степени стал зависеть от социальных условий и воспитания. Вне человеческого общества само формирование специфических человеческих качеств стало невозможным. Благодаря воспитанию, передаче разнообразной научной, культурной, технической информации человек получает то, что было завоевано его предками, обогащается опытом миллионов людей, живших до него.

Таким образом, формирование человека есть прежде всего становление общества. *Антропогенез* неотделим от *социогенеза*, вместе они составляют единый процесс становления человека и общества — *антропосоциогенез*, в котором ведущей стороной является социогенез.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Какие факты свидетельствуют о высоком развитии интеллекта кроманьонцев?

2. Сравните остатки материальной культуры древнейших, древних и ископаемых людей современного физического типа и сделайте выводы о роли труда и общественной жизни в антропогенезе.
3. Широкую известность получили результаты наблюдений над детьми, выросшими в изоляции от взрослых или в логове зверей. У детей-«маугли», как их иногда называют, отсутствуют специфические особенности поведения, свойственные человеку и отличающие его от животного; присущее человеку специфическое развитие психики для них оказывается невозможным. Более того, они даже передвигаются на четвереньках. О чем говорят эти факты?
4. Что следует понимать под антропосоциогенезом?

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО ЭТАПА ЭВОЛЮЦИИ ЧЕЛОВЕКА

За последние 40 тыс. лет физический облик людей почти не изменился, и это может навести на мысль будто человек представляет собой завершившуюся эволюцию. Происходит ли в настоящее время эволюция человека как биологического вида?

Естественный отбор в современном человеческом обществе. Нередко приходится слышать о том, что в связи с социальным прогрессом и развитием медицины естественный отбор в современном человеческом обществе прекратился. Естественный отбор как основная и направляющая сила эволюции живой природы с возникновением общественной организации резко ослабляет свое действие и перестает быть ведущим эволюционным фактором. Однако неправильно полностью отрицать существование отбора в человеческом обществе. Отбор идет на всех стадиях онтогенеза современного человека. Он начинает действовать уже при образовании половых клеток, выбраковывая гаметы с нарушениями нормального механизма мейоза, некоторыми аномалиями хромосомного набора. Далее идет отбор по жизнеспособности и подвижности спермиев, по их выживаемости в половых путях женского организма, по способности оплодотворенной яйцеклетки к имплантации. Отторжение имплантированного зародыша на ранних стадиях беременности, гибель плода, мертворожденность по-прежнему остаются факторами отбора в человеческом обществе.

Около 10% браков не приносят детей из-за мужского и женского бесплодия и других причин. Идет отбор (индивидуальный и групповой) в условиях контроля над рождаемостью в потенциально плодовитых парах. Часть из них сознательно отказывается от рождения детей, тем самым элиминируются из последующих поколений потомки особей со слабо развитыми родительскими инстинктами.

Подчинив себе окружающую среду, избавившись от многих болезней, люди тем не менее не создали и вряд ли смогут создать

среду, в которой не действовал бы ни один из механизмов отбора.

В современном обществе действуют различные формы отбора. Стабилизирующий отбор поддерживает устойчивость физического облика человека. Биологи-теоретики отмечают, что свойство устойчивости живых систем — наиболее важное и фундаментальное завоевание эволюции. Устойчивость, стабильность — это основа жизни не только каждого отдельного вида, но и биосферы в целом. Основой этой устойчивости для биоценоза служит видовое разнообразие, для вида — разнообразие популяций, для популяций — генотипическое разнообразие.

Последние 35—40 тыс. лет составляют лишь 1% времени от известной нам эволюции рода *Номо*, и уловить физические изменения за такой ничтожный в геологическом масштабе временной промежуток очень непросто. Наряду со стабилизирующим отбором в человеческом обществе действует и движущий отбор, который неизбежно связан с изменением признаков и свойств. К этой форме отбора приводит использование человеком сильнодействующих химических веществ (гербицидов, пестицидов), минеральных удобрений, лекарственных препаратов и других мутационных агентов, а также влияние радиации. В результате происходит избирательная гибель зародышевых клеток с менее устойчивым по отношению к тому или иному агенту генотипом.

Таким образом, отбор в современном виде *Номо sapiens* происходит. Естественно, что формы отбора и его давление на каждом этапе человеческой истории различны, но отбор идет. Следовательно, эволюция человека продолжается.

Другие биологические факторы эволюции и современный человек. Единственным биологическим фактором, который, по-видимому, потерял значение в эволюции человека, является изоляция. Раньше ее роль была огромной и эволюция человека шла путем дивергенции, возникли расы. Развитие технических средств перемещения породило постоянную миграцию людей. Несмотря на наличие государственных границ, религиозных, языковых и других барьеров, почти не осталось генетически изолированных групп населения. Нарушение изоляционных барьеров имеет большое значение для обогащения генофонда всего человечества. Волны численности также еще в недавнем прошлом играли заметную роль в развитии человечества. Вспомним пандемии гриппа, холеры, чумы. Ныне численность людей на Земле постоянно растёт, но не подвержена прежним резким колебаниям. Предполагается, что к середине следующего века она стабилизируется.

Единственный эволюционный фактор, который сохраняет большое значение в человеческом обществе, — мутационный процесс. Мутации в клетках человеческого организма возникают в основном с той же частотой, которая была характерна для него в прошлом. В некоторых районах нашей планеты темп мутационного процесса несколько повысился из-за загрязнения при-

роды химическими веществами и радиацией. Мутации и генетические комбинации поддерживают генетическую уникальность каждого человека.

Эволюционная ценность популяционной разнокачественности человечества. Каждый индивидуум неповторим. В генетической разнокачественности человека скрывается огромный резерв его биологического и социального прогресса. Принципы социализма («от каждого по способностям — каждому по труду») и коммунизма («от каждого по способностям — каждому по потребностям») учитывают неодинаковые возможности каждого человека. Концепция равноправия означает равенство генетически разных особей перед законом. Но концепцию равноправия нередко подменяют ложной концепцией «идентичности». Эта концепция ошибочно признает генетическую идентичность особей. Социальные выводы из концепции «идентизма» ошибочны. Эта неоднородность не есть преимущество одних перед другими, а связана с генетической и социальной неоднородностью популяции. Благодаря генетической неоднородности человечество может в условиях прогрессивной социальной системы наиболее полно использовать каждого члена общества и всей популяции.

Бесспорно, некоторый минимум знаний должен быть усвоен каждым ребенком. Но при этом важно учитывать крайнее разнообразие людей и индивидуальность каждого человека. Тренерам хорошо известно, что бегуны на короткие дистанции должны обладать в первую очередь реактивностью, тогда как для стайеров (бегунов на длинные дистанции) необходима выносливость. И способы отбора, и характер тренировки спринтеров и стайеров совершенно различны. Далеко не каждый хороший спортсмен может стать десятиборцем, а чемпионы по десятиборью очень редко показывают результат мирового класса в каком-то одном виде спорта.

Школьная программа справедливо рассчитана на основную массу учащихся. Но вместе с тем следует помнить, что около 2% детей может пройти годичную программу за более короткий срок. Это не вундеркинды, а дети с более высокой реактивностью. Им нужно создавать возможность для более быстрого прохождения обязательного курса. Около 2% школьников не успевают в течение года освоить программу. Если не понять, что это норма, а не патология, то можно у таких тугодумов развить комплекс неполноценности, хотя в их числе могут скрываться одаренные личности. Ч. Дарвин, например, был в школе в числе худших учеников, не блистал школьными успехами Л. Толстой.

Генетическая разнокачественность каждого человека основана на неповторимой комбинации десятков тысяч его генов, на их взаимодействии. Концепция популяционного разнообразия говорит о том, что для популяции в целом выгодно ее генетическая неоднородность. Математические способности одних людей, общелогические других, способности к эксперименту третьих, художе-

ственная одаренность четвертых, музыкальная — пятых позволили человечеству гигантскими шагами пройти за несколько тысячелетий путь, который при полном биологическом равенстве всех людей был бы просто невыносим.

В использовании генетической неоднородности заключены большие резервы повышения производительности труда. С переходом на сезонное время с 1 апреля в нашей стране был сделан лишь первый шаг в использовании особенностей сезонных ритмов человека. Бесспорно, что профориентация должна учитывать генетическую разнокачественность людей: человек должен знать, что ему дается и будет даваться легче, а что труднее.

Так, учет генетической неоднородности каждого, понимание эволюционной и социальной ценности внутрипопуляционного разнообразия человека могут (и должны!) стать огромным резервом повышения производительности труда и ускорения социального прогресса.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Зарубежные ученые по-разному решают проблему роли социальных и биологических факторов в развитии человека. Одни утверждают, что развитие человека генетически обусловлено индивидуальными способностями. Другие придерживаются обратного мнения: все люди рождаются с одинаковыми наследственными задатками, но в жизни становятся разными только по причине воспитания, образования и других социальных факторов. Каково ваше мнение? Аргументируйте свою точку зрения.
2. Как вы объясните тот факт, что в некоторых семьях из поколения в поколение переходят такие признаки, как преступность и алкоголизм?
3. Происходит ли в настоящее время эволюция человека как биологического вида? Если да, то каковы ее факторы и движущие силы?
4. В последние годы в США некоторое распространение получили взгляды, известные под названием «биократизм». Сторонники биократизма считают, что человек как биологический вид несовершенен и нуждается в совершенствовании на биологической основе и только с помощью биологических методов. Человека будущего Homo futurus биократы представляют с увеличенным мозгом вследствие трансплантации дополнительных мозговых клеток в мозг плода и новорожденного или через изменение генов. Делаются также попытки обосновать проекты создания форм человека, хорошо приспособленных к жизни в космосе. Согласны ли вы с тем, что дальнейшее развитие человека может быть достигнуто только на биологической основе? Аргументируйте ответ.

Глава VII. БИОСФЕРА И ЭВОЛЮЦИЯ

Весь животный, растительный, бактериальный мир нашей планеты и еще больше — вся среда жизни: суша, реки, озера, океаны — это *биосфера* (живая оболочка). Ничего подобного нет в ближайшем обозримом космосе. Все привлекательные проекты о переселении человека за пределы Земли остаются пока утопическими. Мысль об уникальности Земли, кроме глубоких эмоциональных переживаний человека о своем месте в мире, порождает и величайшую тревогу за судьбу нашей планеты.

РОЛЬ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА В ЭВОЛЮЦИИ БИОСФЕРЫ

Учение о биосфере — одно из крупнейших философских обобщений в области естественных наук — было создано академиком В. И. Вернадским (1863—1945). В классическом труде В. И. Вернадского «Биосфера» (1926) первой главе предшествуют поэтические строки Ф. Тютчева о гармонии в природе:

Невозмутимый строй во всем,
Созвучье полное в природе.

Эти строки согласуются с учением о биосфере, пронизанной жизнью, которая является *саморегулирующейся и самовоспроизводящейся системой*: она находится в динамическом гармоничном равновесии.

Живое вещество биосферы, по определению В. И. Вернадского, представляет собой совокупность ее живых организмов. Значит, *границы биосферы* — границы распространения жизни на планете.

Функции живого вещества. Быть живым, отмечал В. И. Вернадский, — значит быть организованным. На протяжении миллиардов лет существования биосферы организованность создается и сохраняется деятельностью *живого вещества*. Живое вещество выполняет в биосфере важнейшие *биохимические функции*, обеспечивающие круговорот веществ и энергии.

Газовая функция осуществляется зелеными растениями: для синтеза органических веществ они используют углекислый газ, при этом выделяют в атмосферу кислород. Весь остальной органический мир использует кислород в процессе дыхания и пополняет при этом запасы углекислого газа в атмосфере. Благодаря способности автотрофных организмов к фотосинтезу из древней атмосферы было извлечено огромное количество углекислого газа. По мере увеличения биомассы зеленых растений изменялся газовый состав атмосферы: снижалось содержание углекислого газа и увеличивалась концентрация кислорода. Таким образом, живое вещество качественно изменило газовый состав атмосферы — геологической оболочки Земли.

С газовой функцией живого вещества тесно связана *окислительно-восстановительная функция*. Так, некоторые микроорганизмы непосредственно участвуют в окислении железа, что привело к образованию осадочных железных руд, другие восстанавливают сульфаты, образуя биогенные месторождения серы.

Концентрационная функция проявляется в способности живых организмов накапливать различные химические элементы. Например, в таких растениях-накопителях, как осоки, хвощи, содержится много кремния; морская капуста и щавель — источники йода и кальция. В скелетах позвоночных животных содержится большое количество фосфора, кальция, магния. Благодаря осуществлению концентрационной функции живые организмы создали многие осадочные породы, например залежи мела и известняка.

Круговорот веществ — условие целостности и устойчивости биосферы. Все структурные компоненты биосферы: горные породы, природные воды, газы, почвы, растительность, животные, микроорганизмы — связаны непрерывающимся процессом круговоротного движения. *Круговорот веществ* — важный фактор существования биосферы, поддерживающий ее целостность и устойчивость.

Каждый элемент, входящий в состав живого вещества, поступает в организм из окружающей среды, вовлекается в процесс клеточного метаболизма, после чего снова возвращается в окружающую среду, а затем опять используется живой природой. Следовательно, химические элементы многократно вовлекаются в круговорот веществ. В противном случае запасы любого элемента на Земле быстро бы иссякли и жизнь прекратилась. Но вместе с тем некоторая часть биосферного вещества благодаря концентрационной функции живых организмов выходит из круговорота за пределы современной биосферы, в глубокие слои земной коры. Вот почему каждое последующее состояние биосферы не повторяет предшествующее, биосфера постоянно обновляется, что способствует ее прогрессивному эволюционному развитию. Так, круговорот углерода совершается в течение 3000—5000 лет. Доля углерода, выходящего из этого цикла, ничтожно мала — около стомиллионной доли процента от общего количества находящегося в обращении углерода. Но за всю геологическую историю биосферы таких «выходов» углерода за пределы биосферы произошло около 100 тыс., и это привело к накоплению в геологическом прошлом триллионов тонн ископаемого органического вещества, запасенного в углях, нефти, битумах, известняках и других полезных ископаемых.

Итак, механизм взаимодействия живого (биотического) и неживого (абиотического) состоит в вовлечении неорганической материи в сферу жизни; после ряда превращений — возврат биотического в прежнее, абиотическое состояние.

По той роли, которую играют в этом процессе различные виды организмов, они делятся на три большие группы:

продуценты — организмы, производящие, продуцирующие живое вещество из неживого. В основном это фотосинтетики: высшие и низшие зеленые растения;

консументы, или потребители, — организмы, использующие для поддержания своей жизни органические вещества продуцентов. К ним относятся животные, паразитические растения и многие микроорганизмы;

редуценты — организмы, превращающие органическое вещество в минеральное — исходный продукт для следующего цикла. Это — бактерии, грибы, растения-сапрофиты.

Образно говоря, начинают эстафету жизни зеленые растения, затем ее подхватывают животные, а к финишу доносят бактерии, где снова подбирают растения. Круг замыкается, чтобы дать начало новому обороту, и так бесконечно.

Таких сообществ с замкнутыми пищевыми цепями — *биоценозов* — на Земле множество. Вместе с той средой, в которой протекает их жизнедеятельность (*биотопом*), они образуют относительно самостоятельные природные комплексы — *биогеоценозы*. Основные биогеоценозы мира: моря, реки, озера, болота, леса, степи, пустыни, тундры.

Живое вещество — могущественная геохимическая сила. Рождение биосферы можно рассматривать как качественный скачок в эволюции материи. До ее возникновения на земной поверхности преобладали процессы неживой природы.

Живые организмы с момента возникновения стали могущественной геохимической силой, действующей на Земле около 4 млрд. лет. Живые организмы полностью регулируют состав газовой оболочки нашей планеты, соляной состав вод Мирового океана, обеспечивают круговорот многих химических элементов, использование и трансформацию солнечной энергии, образование почвы, нефти, угля, осадочных пород и других геологических отложений.

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. Что представляет собой биосфера? Какое место она занимает на планете Земля?
2. В. И. Вернадский писал: «Живое вещество... подобное массе газа растекается по земной поверхности и оказывает определенное давление в окружающей среде...»
Как вы понимаете это высказывание ученого? Какими свойствами организмов вызывается растекание живого вещества? Что входит в понятие «живое вещество»?
3. В чем заключаются основные функции живого вещества биосферы?

4. Почему биосферу называют открытой саморегулирующейся системой? Какие вам известны еще открытые и саморегулирующиеся биологические системы?
5. Почему возникновение круговорота веществ — исключительно важный момент в истории развития жизни?
6. Почему перед человечеством стоит проблема овладения новыми источниками энергии?

ВЛИЯНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА БИОСФЕРУ

Человек — элемент биосферы. В начале своей истории он оказывал такое же влияние на ход геохимических процессов, как и любой другой гетеротрофный вид живых организмов. Однако в связи с развитием науки и техники человечество стало могущественной геохимической силой. В природе нет такого быстротекущего геологического процесса, с которым можно было бы сравнить деятельность человека, особенно теперь, когда он вооружен огромным арсеналом воздействий на природу.

Существовавшая всего несколько десятилетий назад точка зрения о том, что биосфера обладает сверхвысокой устойчивостью, что животные, растения, минеральные, энергетические ресурсы Земли неисчерпаемы, оказалась несостоятельной. Промышленность и сельское хозяйство развитых стран заметно нарушили круговорот воды и связанный с ним круговорот химических элементов, загрязнили атмосферу, которая снабжает нас кислородом, и гидросферу, которая дает воду.

Мы живем в веке, когда воздействие на биосферу должно сочетаться с мудростью предвидения его результатов. Способность быть ответственным за все, что происходит на Земле, может быть, есть главная особенность того, что мы называем цивилизацией.

Нарушение кислородного баланса Земли. Свежесть воздуха, содержание в нем кислорода связаны с интенсивным процессом фотосинтеза зеленых растений. Кислород, которым мы дышим и который используется в качестве окислителя при сгорании ископаемого топлива, образовался за 2—3 тыс. лет фотосинтетической деятельности растений всего мира: как сухопутных, так и морских, как деревьев, так и микроскопических водорослей.

С точки зрения сохранения баланса кислорода на Земле не может удовлетворить равенство между гектарами вырубленного и посаженного леса. Ведь фотосинтетическая продуктивность взрослого дерева не идет в сравнение с таковой у саженца. Уже сейчас в ряде промышленно развитых стран при сгорании топлива расходуется гораздо больше кислорода, чем выделяется растениями при фотосинтезе. Значит, эти страны пользуются кислородом, «произведенным» в других странах, в частности кислородом сибирской тайги.

Особую роль в обеспечении Земли кислородом играют влаж-

ные тропические леса Южной Америки, Экваториальной Африки, Индокитая. Это как бы легкие нашей планеты. Не получая от высокоразвитых стран компенсации за сохранение своих лесов, развивающиеся страны вынуждены интенсивно вырубать их ради получения экспортной древесины. Тем самым человечество все более быстрыми темпами нарушает кислородный баланс Земли.

Озоновый экран — хрупкая оболочка, спасающая жизнь на Земле от пагубного воздействия ультрафиолетовых лучей, — возник из кислорода биогенного происхождения около 500 млн. лет назад. Нарушение этого защитного слоя (а оно происходит в результате появления в атмосфере фреона) сделает невозможной жизнь на суше. Возобновление же озонового экрана происходит чрезвычайно медленно и длится тысячи лет.

Загрязнение вод. Для питья, орошения, технологических нужд человеку необходима чистая вода.

Чистота воды — результат биогенных процессов, т. е. процессов биологической очистки всех малых и больших водоемов.

Чистота вод озера Байкал объясняется не просто тем, что в него впадает 300 относительно чистых сибирских рек. Эти реки несут с собой муть, взвеси, остатки отмерших организмов. И если бы не уникальная фауна и флора Байкала, осуществляющие процесс биологической самоочистки, то озеро в лучшем случае представляло бы собой отстойник для привносимой в него «мертвой» воды. Только один вид байкальских полумикроскопических рачков — эпишура — за год 30 раз профильтровывает через жабры 50-метровую толщу вод поверхностных слоев Байкала. А за чистоту более глубоких слоев ответственны другие организмы. Все организмы Байкала связаны между собой тысячами сложных отношений, обеспечивающих очень хрупкое биологическое равновесие этого сообщества. Его нарушение в каком-нибудь звене, резкое снижение численности одного вида, который иногда кажется второстепенным, может со временем привести к гибели всей системы. Сохранить Байкал — долг нашего поколения.

Экологическая опасность нависла и над волжской водой. Известны нормы забора воды: чтобы река жила, нельзя брать больше 1/25 ее части. Только в этом случае может активно действовать естественная природная система самоочищения. В настоящее время на нужды сельского хозяйства и промышленности используется 1/6 часть волжской воды. Большую опасность для Волги представляет промышленность, отбросы которой губят и реку, и рыбу. Необходим единый план развития Волжского бассейна, учитывающий взаимосвязь всех его регионов и отраслей.

Сберечь плодородие земель. Почва, воздух, вода — продукты жизнедеятельности многих десятков тысяч видов организмов. Наши предки жили еще в пещерах, умели лишь поддерживать огонь, когда в результате взаимодействия тысяч видов микроорганизмов, грибов, зеленых растений и животных шло образо-

вание чернозема, который начал использоваться для земледелия в европейской части России всего 250—350 лет назад, на Алтае — около 75, а в Казахстане менее 30 лет назад.

Неправильной пахотой вдоль, а не поперек склона тракторист за один сезон может разрушить пахотный слой почвы, на образование которого ушли сотни, иногда и тысячи лет. Неумелое применение удобрений, ядохимикатов влечет за собой гибель жизненно важной почвенной микрофауны (нематоды, ногохвостки, многие клещи) и макрофауны (дождевые черви, многоножки, жуки, двукрылые).

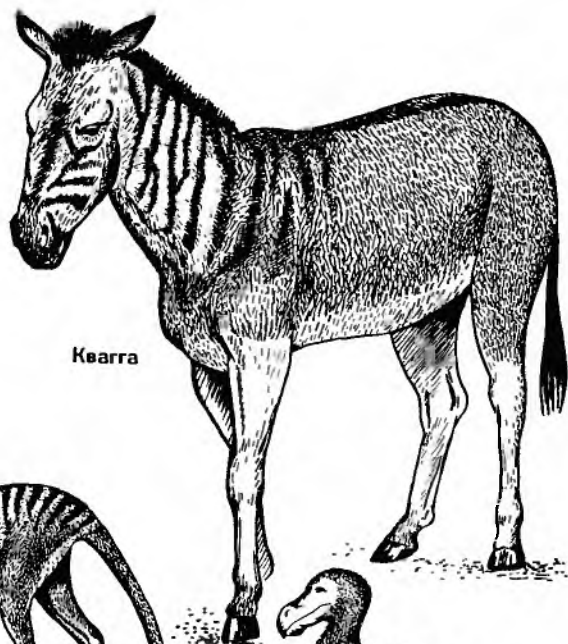
Сокращение видового разнообразия. Население Земли постоянно растет; в настоящее время оно увеличивается на 172 человека в минуту, на 250 тыс. в день и на 90 млн. в год и к 2000 г. составит примерно 6,5 млрд. В связи с ростом населения все новые территории включаются в активную хозяйственную деятельность: распашка полей, строительство новых промышленных комплексов, прокладывание дорог, расширение площадей поселков и городов. Следовательно, уменьшается пространство для диких животных и растений, разрушаются их места обитания, сокращаются численность и разнообразие.

В последнее время, по данным МСОП, в среднем на нашей планете ежегодно исчезает по одному виду или подвиду позвоночных животных. Вытесняя из жизни очередной биологический вид, мы обкрадываем себя, так как теряем драгоценный генофонд, обрываем информацию, которая идет из глубины веков, обедняем биосферу. Техносфера не может заменить биосферу, и никакая рукотворная природа не заменит естественной природы. Водохранилища не равноценны озерам, лесопарки — это не природный лес. Они не жизнеспособны, так как лишены главного признака жизни — способности к самовозобновлению и самосохранению.

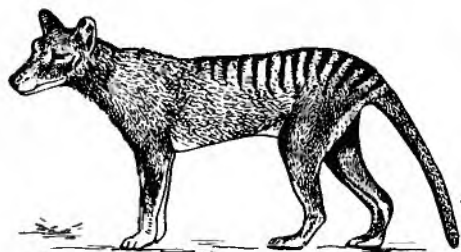
Следует, однако, сказать, что некоторые живые существа чувствуют себя комфортно в антропогенных условиях. Усиление влияния хозяйственной деятельности человека на биосферу благоприятно сказывается на эволюции крыс, домовых мышей, ворон, голубей, некоторых видов пещерных пауков (они, вероятно, принимают каменные дома за пещеры), домовых мух, молей, находящих благоприятную среду в виде запасов одежды, хранящейся почти в каждом доме. В загрязненных сточными водами водоемах в небывалом прежде количестве развиваются сине-зеленые (цианеи). Они были одними из первых форм жизни на нашей планете и являются как бы живыми ископаемыми. Создавая условия для развития сине-зеленых, мы, словно, отбрасываем эту часть биосферы на миллиарды лет назад.



Бескрылая гагарка



Кварга



Сумчатый волк



Дронг



Стеллерова корова

Рис. 52. Истребленные человеком виды позвоночных

ПРОВЕРЬТЕ СЕБЯ

1. В чем заключается биологическая роль живых организмов в создании почвы?
2. Какое влияние на создание современной атмосферы оказали живые организмы?
3. Полосатые зубатки и многие другие обитатели морей подают друг другу различные сигналы, в том числе и сигналы опасности. Наличие в воде даже небольших доз пестицидов делает эту связь невозможной. К каким последствиям может привести дальнейшее загрязнение морей и океанов? Каков характер воздействия фактора загрязнения в данном случае?
4. Какие данные из литературы или телевизионных передач вы можете привести о последствиях нарушения природных закономерностей?
5. Назовите известные вам виды животных, истребленные человеком. К каким последствиям может привести сокращение видового многообразия нашей планеты?

РЕАЛЬНОСТЬ И ИДЕАЛ НООСФЕРЫ

Ноосфера — стадия развития биосферы. В. И. Вернадский первым осознал, что человек стал геологической силой, способной преобразовывать природу в больших масштабах. Он отмечал, что человек охватил своей жизнью, культурой всю биосферу, что мы присутствуем при создании в биосфере нового, небывало мощного геологического фактора.

Академик В. И. Вернадский верил в человеческий разум. Он был убежден, что человечество найдет путь к сохранению биологического равновесия на планете. Биосфера, по его мнению, должна преобразоваться в *ноосферу* — *сферу разума*, создаваемую прежде всего развитием науки, научным пониманием происходящих процессов и основанного на нем труда человека. Только человек способен принять на себя функции управления экологическим развитием планеты в целом.

Охрана биосферы. Хрупкая оболочка Земли отделяет планету от мира космоса, где все пространство пронизывает космическое излучение, где вакуум сменяется чудовищным давлением, а невесомость — колоссальными силами гравитации, спасает от космического холода и жара. Значит, в первую очередь важно позаботиться о сохранении земной природы. Для этого необходимо привести в соответствие величину выбросов с возможностями поглощения или усвоения их биосферой Земли, т. е. с возможностью самоочищения; следует, кроме того, наладить службу контроля за состоянием среды — *мониторинг*.

Не менее важная задача рационально использовать ресурсы планеты. Человечество должно соотносить ежегодное потребление возобновляемых ресурсов с их годовым возобновлением, экономно

и дальновидно тратить ресурсы, не способные к самообновлению. Нарушение этих условий ведет к упадку плодородия почв, падению уловов рыбы, сокращению лесных угодий, нехватке пресной воды. Неосмотрительная трата невозобновимых ресурсов может поставить в тяжелое положение грядущие поколения. Истощение рудных запасов раньше, чем найдется им равноценная замена, лишит промышленность необходимого сырья, а полное истощение ископаемого топлива до того, как будут найдены новые энергетические источники, остановит, лишит тепла и света все отрасли хозяйства.

Природные цепи отличаются постоянством физического и химического состава и количества участвующих в них элементов. Вода океанов после ряда превращений (проходя через атмосферу, литосферу, живое вещество планеты) снова возвращается в том же виде и количестве в океаны; газы атмосферы, пройдя те же стихии, превращаются в газовую смесь со строго постоянным составом.

Борьба за чистоту биосферы ведется сегодня по следующим направлениям:

- борьба с загрязнениями воздуха, воды и почвы на основе обезвреживания промышленных, сельскохозяйственных, бытовых отходов;

- создание качественно новых технологий, построенных на принципе замкнутых систем, по образцу тех процессов, которые происходят в окружающей природе;

- восстановление нарушений в биосфере: рекультивация земель, восстановление лесов и плодородия почвы, возрождение популяции животных или растений, которым грозит истребление, и т. д.

Первоочередные мероприятия начинаются с определения научно обоснованных ПДК выбрасываемых веществ. Очистка состоит в установлении дымо-, газо- и золоуловителей на дымовых трубах особо грязных и вредных производств (химическая промышленность, цветная и черная металлургия, энергетика) и очистных сооружений на пути выброса сточных вод с рисовых полей, целлюлозно-бумажных и других предприятий.

Защита живого мира. Каждый вид обладает неповторимым генофондом. Чтобы выжить и не потерять ценных свойств, он должен обитать в своих сообществах, участвовать во внутривидовой и межвидовой борьбе. Вот почему охрана мирового генетического фонда требует сохранения не только отдельных видов, но и целых биогеоценозов со всем разнообразием составляющих их популяций. Сохранение генетического фонда сыграет основную роль в улучшении культурных растений и домашних животных. Не менее важно сохранение фонда ценнейших лекарственных растений. Наша задача — сохранить все виды живых организмов, сберечь все то удивительное видовое разнообразие, которое досталось человечеству как итог длительной эволюции жизни на Земле.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Алексеев В. П. Становление человечества.— М.: Политиздат, 1984.

Аллен Р. Как спасти Землю: Всемирная стратегия охраны природы.— М.: Мысль, 1983.

Банников А. Г., Флинт В. Е. Мы должны их спасти.— М.: Мысль, 1982.

Борисковский П. И. Древнейшее прошлое человечества.— 2-е изд.— Л.: Наука, 1979.

Верещагин Н. К. Почему вымерли мамонты.— Л.: Наука, 1979.— (Сер. «Планета Земля и Вселенная»).

Вернадский В. И. Биогеохимические очерки // Проблемы биогеохимии.— М.: Наука, 1980.

Воронцов Н. Н. Теория эволюции: Истоки, постулаты и проблемы.— М.: Знание, 1984.— (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Биология», № 7).

Ганты Т. Жизнь и ее происхождение / Пер. с венг.— М.: Просвещение, 1984.

Иорданский Н. Н. Развитие жизни на Земле.— М.: Просвещение, 1981.

Кейлоу П. Принципы эволюции / Пер. с англ.— М.: Мир, 1986.

Линден Ю. Обезьяны, человек и язык / Пер. с англ.— М.: Мир, 1981.

Медников Б. М. Аксиомы биологии.— М.: Знание, 1985.

Мейен С. В. Следы трав индейских.— М.: Мысль, 1981.

Николов Т. Долгий путь жизни / Пер. с болг.— М.: Мир, 1986.

Розанов А. Ю. Что произошло 600 миллионов лет назад.— М.: Наука, 1986.— (Сер. «От молекулы до организма»).

Саган К. Драконы Эдема: Рассуждение об эволюции человеческого разума / Пер. с англ.— М.: Знание, 1986.

Скворцов А. К. Микроэволюция и пути видообразования.— М.: Знание, 1982.— (Сер. «Биология»).

Стоун И. Происхождение; Роман-биография Ч. Дарвина / Пер. с англ.— М.: Политиздат, 1983.

Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В. Краткий очерк теории эволюции.— М.: Наука, 1977.

Уильям Х. Живой мир островов.— Л.: Гидрометеиздат, 1987.

Чарлз Дарвин. Происхождение видов / Комментар. Б. М. Медникова, А. В. Яблокова.— М.: Просвещение, 1987.

Штрбанова С. Кто мы? Книга о жизни, клетках и ученых.— М.: Прогресс, 1984.

Эттенборо Д. Жизнь на Земле: Естественная история.— М.: Мир, 1984.

Югай Г. А. Антропосоциогенез: Философские и психологические аспекты (От биологической к социальной форме движения).— М.: Знание, 1982.— (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Биология», № 2).

Яблоков А. В. Мир эволюции.— М.: Детская литература, 1985.

Яблоков А. В. Эволюционная теория сегодня. В кн.: Актуальные проблемы биологической науки.— М.: Просвещение, 1984.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I. МОЛЕКУЛЯРНЫЕ, ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ И ИЗМЕНЧИВОСТИ	5
Клетка — элементарная структурная единица жизни	5
Белки — биополимеры	9
Нуклеиновые кислоты	13
Наследственная информация и ее реализация в клетке	17
Деление клетки. Митоз	22
Размножение. Мейоз. Оплодотворение	25
Основные законы наследственности	28
Сцепленное наследование, взаимодействие и множественное действие генов	32
Закономерности изменчивости	35
 Глава II. РАЗВИТИЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ, ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ЭВОЛЮЦИИ	 40
Истоки дарвинизма. Первое эволюционное учение	40
Предпосылки возникновения и основные положения учения Ч. Дарвина	43
Искусственный отбор	47
Ч. Дарвин о движущих силах эволюции видов	50
Оценка эволюционного учения Ч. Дарвина. Победа эволюционного учения	53
Палеонтологические, сравнительно-анатомические и эмбриологические доказательства эволюции	55
Биогеографические доказательства эволюции	60
Вид, его критерии	64
Популяционная структура вида	67
 Глава III. МИКРОЭВОЛЮЦИЯ	 70
Дальнейшее развитие дарвинизма. Формирование синтетической теории эволюции	71
Введение в популяционную генетику	74
Элементарные эволюционные материал, явление, структура	78
Элементарные факторы эволюции. Мутационный процесс	81
Популяционные волны. Генетический дрейф	85
Изоляция	88
Естественный отбор направляющий элементарный фактор эволюции	91
Формы естественного отбора в популяциях	93

Возникновение приспособлений — результат действия естественного отбора	98
Образование вида — результат микроэволюции	102
Основные положения СТЭ. Дальнейшее развитие эволюционизма	109
Глава IV. МАКРОЭВОЛЮЦИЯ, МНОГООБРАЗИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА И ПРИНЦИПЫ СИСТЕМАТИКИ	111
Основные направления эволюционного процесса	111
Многообразие органического мира. Принципы систематики	118
Широкая классификация организмов: доклеточные и клеточные (безъядерные) формы жизни	120
Эукариоты. Происхождение эукариотической клетки	125
Широкая классификация организмов: царства растений и грибов	126
Широкая классификация организмов: царство животных	131
Глава V. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЖИЗНИ И ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА	135
Развитие представлений о возникновении жизни	135
Критерии живого	139
Неорганическая эволюция и условия возникновения жизни на Земле	142
На пути к возникновению первичных организмов	149
История Земли и методы ее изучения	153
Развитие жизни в докембрии	158
Гипотеза дрейфа континентов	161
Развитие жизни в раннем палеозое	164
Конец палеозоя — победа жизни на поверхности суши	169
Развитие жизни в мезозое	173
Развитие жизни в кайнозое	177
Глава VI. АНТРОПОГЕНЕЗ	181
Доказательства происхождения человека от животных	181
Ископаемые приматы	186
Древнейшие люди	191
Древние люди	196
Современные люди	202
Особенности современного этапа эволюции человека	207
Глава VII. БИОСФЕРА И ЭВОЛЮЦИЯ	211
Роль живого вещества в эволюции биосферы	211
Влияние деятельности человека на биосферу	214
Реальность и идеал ноосферы	218
Рекомендуемая литература	220

БЕСПЛАТНЫЕ УЧЕБНИКИ ВРЕМЕН СССР

**БОЛЬШАЯ БИБЛИОТЕКА
НА САЙТЕ
«СОВЕТСКОЕ ВРЕМЯ»**

SOVIETIME.RU

СКАЧАТЬ



Учебное издание

**ВОРОНЦОВ НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ
СУХОРУКОВА ЛЮДМИЛА НИКОЛАЕВНА**

ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Факультативный курс

Учебное пособие для 9—10 классов средней школы

Зав. редакцией Т. П. Крюкова

Редактор Л. А. Приходько

Художники А. В. Ермаков, В. Д. Овчинсенский, О. И. Руновская

Художественный редактор Т. А. Бусарова

Технические редакторы Т. Н. Зыкина, Е. Н. Зелянина

Корректоры Т. С. Крылова, И. Н. Панкова

ИБ № 12617

Сдано в набор 04.06.90. Подписано к печати 20.02.91. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 2. Гарнит. литер. Печать офсет. Усл. печ. л. 14,0+1 вкл.+0,25 форз. Усл. кр.-отт. 19,31. Уч.-изд. л. 15,27+0,89 вкл.+0,42 форз. Тираж 378 000 экз.

Заказ 2441. Цена 1 р. 70 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Министерства печати и массовой информации РСФСР, 129846, Москва, 3-й проезд Марьиной роши, 41.

Отпечатано с диапозитивов Саратовского ордена Трудового Красного Знамени полиграфического комбината Министерства печати и массовой информации РСФСР, 410004, Саратов, ул. Чернышевского, 59 на Смоленском полиграфкомбинате Министерства печати и массовой информации РСФСР, 214020, Смоленск, ул. Смольянинова, 1.



Т а б л и ц а 1. Борьба за существование и ее формы:

1 — цапли (внутривидовая борьба); 2 — наездник, откладывающий яйцо в гусеницу (межвидовая борьба); 3 — юкка древовидная растет в жарких пустынях Мексики, где выпадает не более 125 мм осадков в год (борьба с неблагоприятными условиями жизни)



Т а б л и ц а 2. Пример искусственного отбора.

Породы собак (сверху вниз): бассет, ирландский сеттер, боксер, фокстерьер, сенбернар, доберман-пинчер, французский бульдог



Т а б л и ц а 3. Подвиды лисицы.

Сверху вниз: тобольская, саварная, лесостепная, степная, караганка



Т а б л и ц а 4. Разнообразие видов кактусов как пример творческого действия естественного отбора

Вина

Чечевица

Вина

Чечевица



1



1a



8



8a



2



2a



9



9a



3



3a



10



10a



4



4a

Семядоли



5



5a



11



11a



6



6a



12



12a



7



7a



13



13a

Ф о р м а с е м я н



14



14a



15



15a



Т а б л и ц а 5. Гомологические ряды в наследственной изменчивости по окраске и форме семян вики и чечевицы:

1—13 — семена вики; 1a — 13a — семена чечевицы



Т а б л и ц а 6. Индустриальный меланизм — пример действия
естественного отбора



Т а б л и ц а 7. Примеры адаптаций

Сходство формы тела и окраски незащищенных животных с защищенными (мимикрия): бабочка-белянка (1) похожа на ядовитую бабочку-геликониду (2); бабочка-стекляница (3) похожа на осу (4); бабочка-каллима с распростертыми крыльями (5), она же со сложенными крыльями, сидящая на сучке (6). Зеленый щитник («бродячий лист», 7) гармонирует с фоном; обыкновенный богомол похож на зеленый побег. Яркая окраска отпугивает хищников (9)



**Т а б л и ц а 8. Многообразие видов оленей, возникших
в результате дивергенции:**

1 — пятнистый олень; 2 — марал; 3 — лань; 4 — северный олень; 5 — лось;
6 — косуля; 7 — кабарга

ЯДЕРНЫЕ ЭУКАРИОТЫ

ЖИВОТНЫЕ



Многоклеточные



Простейшие

ГРИБЫ



Высшие грибы



Нижшие грибы

РАСТЕНИЯ



Высшие растения



Багрянки



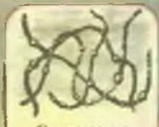
Настоящие водоросли

ДОЯДЕРНЫЕ ПРОКАРИОТЫ



Бактерии

Грибы



Синезеленые

Надцарства

Царства

Подцарства

Таблица 9. Схема классификации живых организмов



Т а б л и ц а 10. Фауна раннего палеозоя (кембрий, ордовик, силур):

1 — колония археоциат; 2 — скелет силурийского коралла; 3 — медузы;
4 — раковины силурийских головоногих моллюсков; 5 — плеченогие; 6 —
трилобиты — примитивнейшие ракообразные (кембрий)



Таблица 11.
Фауна второй
половины палеозоя
(девон, карбон,
пермь):

1 — кистеперая рыба (де-
вон); 2 — древнейшее зем-
новодное — стегоцефал
(карбон); 3 — стрекоза
(карбон); 4 — древней-
шее пресмыкающееся —
хищный ящер иностранце-
вий (пермь); 5 — всеяд-
ный ящер — диметродон
(пермь); 6 — растительно-
ядный ящер — парейзавр
(пермь); 7 — рыбоядный
ящер (пермь)



таблица 12.
Мезозойские пресмыкающиеся — завоеватели моря, суши и воздуха:

1 — водяной ящер — ихтиозавр (триас); 2 — полуводный ящер — плезиозавр (мел); 3 — растительноядный динозавр — стегозавр (юра); 4 — летающий хвостатый ящер — рамфоринкус; 5 — летающий бесхвостый ящер — птеранодон (мел); 6 — рогатый динозавр — стиракозавр (юра); 7 — гигантский хищник — тираннозавр (юра)



Т а б л и ц а 13. Ч е л о в е к о о б р а з н ы е о б е з ь я н ы:
1 — орангутан; 2 — гиббон; 3 — шимпанзе; 4 — горилла



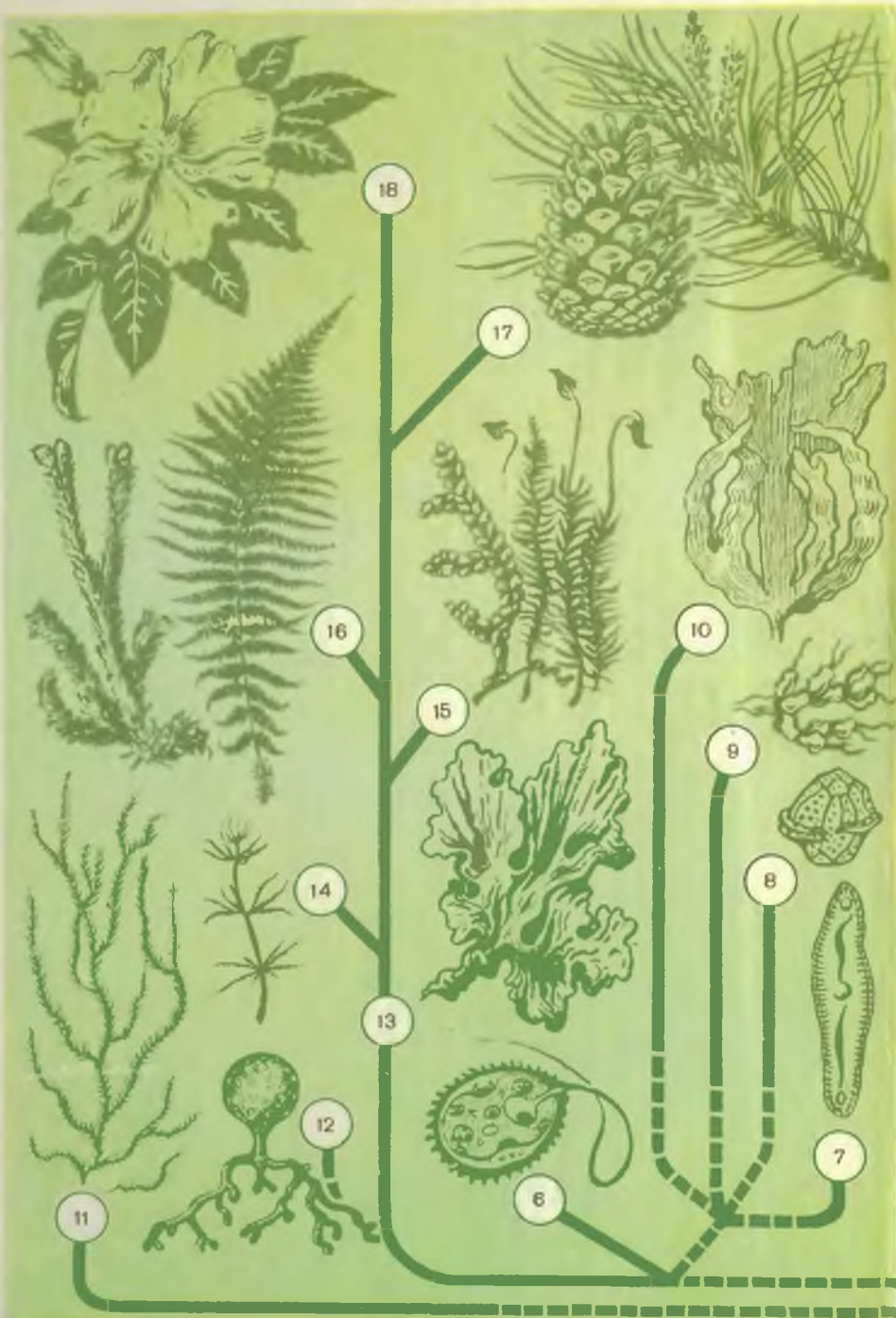
Т а б л и ц а 14. Древнейшие пюди по время охоты



Т а б л и ц а 15. Человек прямоходящий был искуснейшим охотником



Т а б л и ц а 16. Неандертальские охотники





ГРИБЫ:

1 — миксомицеты; 2 — низшие грибы; 3 — сумчатые грибы; 4 — несовершенные грибы; 5 — базидомицеты

ЗЕЛЕННЫЕ РАСТЕНИЯ:

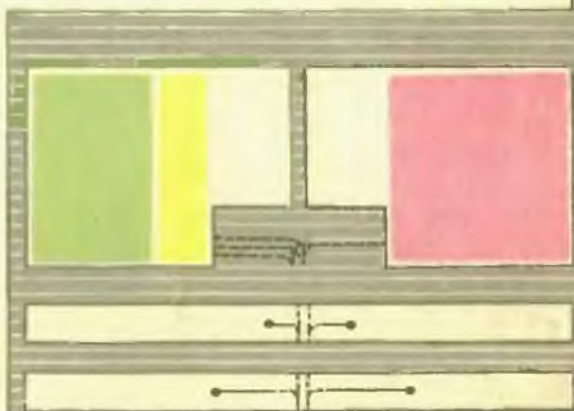
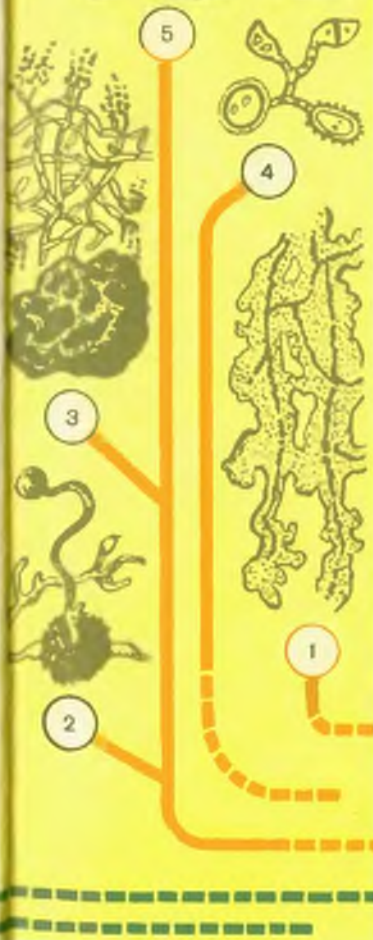
6 — разножгутиковые; 7 — диатомовые; 8 — пиррофитовые водоросли; 9 — золотистые водоросли; 10 — бурые водоросли; 11 — красные водоросли; 12 — разножгутиковые водоросли; 13, 14 — зеленые водоросли; 15 — мохообразные; 16 — папоротниковые; 17 — голосеменные; 18 — покрытосеменные

ЭУКАРИОТЫ

зеленые растения; грибы; животные

ПРОКАРИОТЫ

сине-зеленые; вирусы; бактерии; фаги



ЖИВОТНЫЕ:

1 — перьячные животные; 2 — инфузории; 3 — корненожки; 4 — споровики; 5 — фагоцителлозные; 6 — губки; 7 — медузы; 8 — кораллы; 9 — актинии; 10 — ресничные черви; 11 — нематеры; 12 — сосальщики; 13 — лентецы; 14 — погонофоры; 15 — морские лилии; 16 — морские ежи; 17 — змеехвосты; 18 — морские звезды; 19 — голотурии; 20 — полухордовые; 21 — оболочники; 22 — бесчерепные; 23 — рыбы; 24 — амфибии; 25 — рептилии; 26 — птицы; 27 — млекопитающие; 28 — пиявки; 29 — двусторчатые моллюски; 30 — брюхоногие моллюски; 31 — головоногие моллюски; 32 — панцирные моллюски; 33 — первичноротые; 34 — паукообразные; 35 — трилобиты; 36 — насекомые

