





Раздел

Эволюция живого мира на Земле

Живое представлено необычайным разнообразием форм, множеством видов живых организмов. Из курса «Многообразие живых организмов» вы помните, что в настоящее время уже известно около 350 тысяч видов растений и около 2 млн видов животных, населяющих нашу планету. И это не считая грибов и бактерий! Кроме того, ученые постоянно описывают новые виды — как существующие в наши дни, так и вымершие в минувшие

геологические эпохи. Выявление и объяснение общих свойств и причин многообразия живых организмов — задача общей биологии и цель настоящего учебника. Важное место среди рассматриваемых общей биологией проблем занимают вопросы происхождения жизни на Земле и законы ее развития, а также взаимосвязь различных групп живых организмов между собой и взаимодействие их с окружающей средой.

Человек всегда стремился познать окружающий мир и определить то место, которое он в нем занимает. Как возникли современные животные и растения? Чем объяснить их поразительное разнообразие? Почему исчезли фауна и флора далеких от нас времен? По какому пути пойдет развитие жизни на Земле в дальнейшем? Вот лишь несколько из того огромного количества вопросов, решение которых всегда волновало человечество.



Многообразие живого мира. Уровни организации и основные свойства живых организмов

Вспомните!

- Химический элемент • Молекула • Клетка • Ткань
- Орган • Организм • Популяция • Биоценоз
- Биогеоценоз • Биосфера • Обмен веществ
- Размножение • Наследственность и изменчивость
- Развитие • Раздражимость

Мир живых существ представлен биологическими системами различной структурной организации и разного уровня сложности. Вы уже знаете, что все живые организмы состоят из клеток. *Клетка* может представлять собой целый организм, а может быть частью многоклеточного растения или животного. Она бывает устроена просто, как клетки бактерий и синезеленых водорослей, или значительно более сложно — клетки зеленых растений, грибов, животных. Бактерии, как и простейшие, представляют собой целостные одноклеточные организмы, способные выполнять все функции для обеспечения их жизнедеятельности. А вот клетки, входящие в состав многоклеточного организма, специализированы, т. е. могут осуществлять только одну какую-либо функцию и не способны существовать самостоятельно, вне организма. У многоклеточного организма взаимодействие многих клеток приводит к возникновению нового качества, не равнозначного простой их сумме.

В любой клетке процессы жизнедеятельности осуществляются на уровне взаимодействия различных молекул. На этом уровне начинаются обмен веществ и превращение энергии, передача наследственной информации и др.

В многоклеточном организме клетки и межклеточное вещество образуют связанные выполнением определенных функций *ткани* и *органы*. В результате этого мно-

гоклеточный *организм* представляет собой целостную систему, способную к самостоятельному существованию.

Совокупность организмов одного и того же вида, объединенных общим местом обитания, образует популяцию. *Популяция* — система надорганизменного уровня. Именно здесь протекают простейшие эволюционные преобразования.

Организмы популяций различных видов взаимодействуют между собой в экологических системах — *биогеоценозах*. Так называют совокупность организмов разных видов (сообщество) и факторов среды их обитания, объединенных обменом веществ и энергии в единый природный комплекс.

Наконец, все биоценозы планеты формируют *биосферу* — систему высшего порядка. На этом уровне происходит круговорот веществ и превращение энергии, связанные с жизнедеятельностью всех живых организмов, обитающих на Земле (рис. 1).

Живой материи на любом уровне организации присущи черты, отличающие ее от неживой материи.

Все живые организмы способны к *обмену веществ* с окружающей средой. Они поглощают из нее вещества, необходимые им для питания, наружу выделяют продукты жизнедеятельности. Обмен веществ обеспечивает постоянство химического состава и строения всех частей организма и, как следствие, постоянство и стабильность их функционирования в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды.

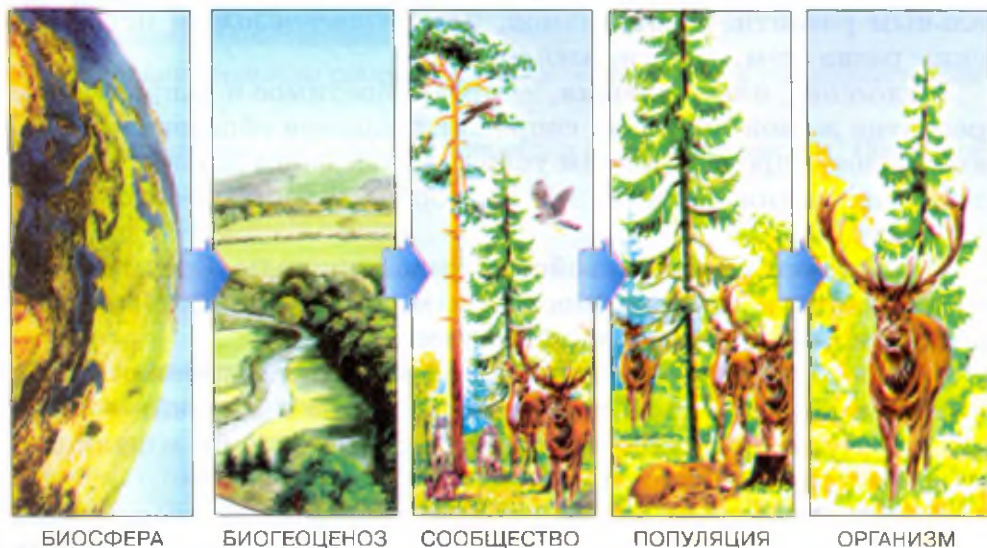


Рис. 1. Спектр уровней организации живых систем

Другая характерная черта живой материи — *самовоспроизведение*. Способность к размножению, т. е. воспроизведению нового поколения особей того же вида, — одно из основных свойств живых организмов. Потомство в главном всегда похоже на родителей, поэтому свойство организмов воспроизводить себе подобных тесно связано с явлением наследственности.

Наследственность — это способность организмов передавать свои признаки, свойства и особенности развития из поколения в поколение. Однако потомки не идентичны своим родителям, и в этом проявляется изменчивость — способность организмов приобретать новые признаки и свойства. В основе ее лежит изменение строения генов или хромосом.

Изменчивость создает разнообразный исходный материал для естественного отбора, т. е. отбора особей, наиболее приспособленных к условиям существования в конкретных природных условиях, что, в свою очередь, приводит к появлению новых форм жизни, новых видов организмов.

При размножении организмов через половые клетки передается не комплекс признаков и свойств организма, а гены, определяющие возможность их развития. Сами же качества организма появляются в процессе развития. Способность к развитию — всеобщее свойство материи. Под *развитием* понимают необратимое направленное закономерное изменение объектов живой и неживой природы. Развитие живой материи представлено индивидуальным развитием организмов, или *онтогенезом*, и историческим развитием, или *филогенезом*.

Филогенез, или *эволюция*, — это необратимое и направленное развитие живой природы, сопровождающееся образованием новых видов и прогрессивным усложнением форм жизни. Результатом эволюции является все многообразие живых организмов на Земле.

Существуют и другие свойства живой природы. Среди них саморегуляция и раздражимость, ритмичность и некоторые другие, знакомые вам из курса «Человек».

Таким образом, живые организмы резко отличаются от неживых систем — объектов, изучаемых физикой и химией, — своей исключительной сложностью и высокой структурной и функциональной упорядоченностью.

Что же такое жизнь? Одно из определений более 100 лет назад дал Ф. Энгельс: «Жизнь есть способ существования белковых тел, и этот способ существования состоит по своему существу в

постоянном самообновлении химических составных частей этих тел». В это определение вошли два важных положения: 1) жизнь тесно связана с белками и 2) непрерывное условие жизни — постоянный обмен веществ, с прекращением которого прекращается и жизнь.

Достижения биологии наших дней позволили выявить новые черты, присущие живым организмам, и на этом основании дать более точное определение понятия «жизнь». Современный отечественный ученый М. В. Волькенштейн определяет это понятие так: «Живые тела, существующие на Земле, представляют собой открытые саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенные из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот».

Ознакомившись, таким образом, с основными признаками и свойствами живых организмов, можно перейти теперь к вопросу о причинах многообразия жизни на Земле.

Вопросы для повторения и задания

1. Перечислите биологические полимеры, входящие в состав живых систем.
2. Какие уровни организации живой материи вы знаете?
3. Как взаимосвязаны различные уровни организации живой материи?
4. Что такое самовоспроизведение (репродукция) живых организмов?
5. Что такое развитие? Какие формы развития вы знаете?
6. Что такое раздражимость? Какое значение она имеет для приспособления к условиям существования?
7. Приведите примеры саморегуляции физиологических процессов в организме.
8. В чем значение ритмичности процессов жизнедеятельности? Приведите примеры ритмичности процессов в неживой природе.
9. Дайте определение жизни.

Подумайте

Что связывает между собой живые организмы, обитающие в разных биогеоценозах планеты?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

2

Развитие биологии в додарвиновский период

Как возникли сложные организмы? Под действием каких сил сформировались их приспособительные признаки? Откуда такое разнообразие органического мира и как оно сохраняется? Какое место в природе занимает человек и кто его предки?

На эти вопросы отвечает *теория эволюции*. Под эволюцией живого мира понимают процесс исторического развития живой природы с момента возникновения жизни на Земле до современности.

Еще в древности были собраны некоторые сведения о живой природе. Изучением животных занимался древнегреческий ученый Аристотель (IV в. до н. э.), описавший более 500 видов и расположивший их в определенном порядке: от просто устроенных ко все более сложным. Ученый и его ученики изучали также строение растений. На протяжении Средневековья труды Аристотеля были основой представлений о живой природе. Интерес к биологии возрос в эпоху Великих географических открытий (XV в.). Интенсивная торговля и открытие новых земель расширяли сведения о животных и растениях. Из Индии и Америки в Европу завезли новые растения — корицу, картофель, кукурузу, табак. Ботаники и зоологи описывали множество новых, не виданных ранее растений и животных, указывая, какими полезными или вредными свойствами те обладают.

1. Становление систематики

Вспомните!

• Таксон • Система • Иерархия

Потребность в упорядочении быстро накапливающихся знаний привела к необходимости систематизировать их. Создаются практические системы классификации, в которых растения и животные объединяют в группы в зависимости от их пользы или вреда для человека. Например, выделяли лекарственные растения, са-

довые или огородные культуры, сорняки — чрезвычайно разнообразные растения, появившиеся в однородной культуре возделываемых человеком растений. Понятия «домашний скот» или «ядовитые животные» служили для обозначения самых разных по своему строению и происхождению животных. Вследствие удобства практическая классификация видов применяется до сих пор.

Однако ученых классификация живых организмов по признаку полезности удовлетворить не могла. Они искали такие свойства, которые позволили бы объединять растения и животных в группы по сходству в строении и жизнедеятельности. Первоначально в основу систематики брали один или небольшое число произвольно выбранных признаков. Понятно, что при этом в одну и ту же группу попадали совершенно неродственные организмы.

На протяжении XVI—XVIII вв. продолжалась работа по описанию животных и растений, по их систематизации. Большой вклад в создание системы природы внес выдающийся шведский естествоиспытатель Карл Линней (1707—1778). Этот ученый описал более 8000 видов растений, установил единообразную терминологию и порядок описания видов. Он объединил сходные виды в роды, сходные роды — в отряды, а отряды — в классы.

Таким образом, в основу своей классификации он положил принцип иерархичности (т. е. соподчиненности) таксонов (от греч. *таксис* — расположение в порядке) — систематических единиц того или иного ранга. В системе Линнея самым крупным таксоном был класс, самым мелким — вид (разновидность). Это был чрезвычайно важный шаг на пути к установлению естественной системы. Линней закрепил использование в науке бинарной (т. е. двойной) номенклатуры для обозначения видов. С тех пор каждый вид называется двумя словами: первое слово означает род и является общим для всех входящих в него видов, второе слово — собственно видовое название. С развитием науки в систему были введены некоторые дополнительные категории: семейство, подкласс и др., а высшими таксонами стали тип и царство. Но принцип построения системы остался неизменным. Например, систематическое положение домашней собаки можно описать следующим образом. Собака домашняя входит в род Волк семейства Волчьих отряда Хищные класса Млекопитающие подтипа Позвоночные типа Хордовые. Наряду с домашней собакой род Волк включает волков, шакалов, койота, динго.

Линней создал самую совершенную для того времени систему органического мира, включив в нее всех известных тогда животных и все известные растения. Во многих случаях он правильно

объединил виды растительных организмов по сходству строения и организации органов размножения. Однако произвольность в выборе признаков для классификации привела Линнея к ряду ошибок.

Линней признавал искусственность своей системы и указывал на необходимость разработки естественной системы природы. Он писал: «Искусственная система служит только до тех пор, пока не найдена естественная». Однако что означало для ученого XVIII в. понятие «естественная система»? Как теперь известно, естественная система отражает происхождение животных и растений и основана на их родстве и сходстве по совокупности существенных черт строения. Во времена господства религиозных представлений ученые полагали, что виды организмов созданы независимо друг от друга Творцом и остаются неизменными. «Видов столько, — говорил Линней, — сколько различных форм создал в начале мира Всемогущий». Поэтому поиски естественной системы природы означали для биологов попытки проникновения в план творения, которым руководствовался Бог, создавая все живое на Земле. Совершенство строения видов, взаимное соответствие строения и функций внутренних органов, приспособленность к условиям существования объяснялись мудростью Творца. Правильное толкование происхождения органической целесообразности дал только великий английский ученый Ч. Дарвин.



Вопросы для повторения и задания

1. Что такое систематика?
2. По какому принципу построена классификация организмов К. Линнея?
3. Что такое естественная система природы?
4. Какие царства, типы, классы, семейства, роды и виды живых организмов вы знаете?



Подумайте

Почему с развитием науки в систематике были введены новые дополнительные таксоны?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

2. Эволюционная теория Жана Батиста Ламарка

Вспомните!

- Климатические условия местности
- Факторы внешней среды
- Геологическая история материков

Постепенно накапливались факты, которые противоречили представлениям о неизменности живой природы. Создание микроскопа в XVII в. и его применение в биологических исследованиях сильно расширили кругозор ученых. Оформилась как наука эмбриология, возникла палеонтология.

Ученым, создавшим первую эволюционную теорию, был выдающийся французский естествоиспытатель Ж. Б. Ламарк, внесший своими трудами большой вклад в биологию; сам термин «биология» принадлежит ему. Теория эволюции Ламарка, в отличие от многих предшествующих теорий, опиралась на факты. Мысль о непостоянстве видов возникла у него в результате глубокого изучения строения растений и животных. Занимаясь систематикой животных, Ламарк обратил внимание на сходство существенных черт строения у животных разных видов. На основе сходства Ламарк выделил 10 классов беспозвоночных вместо двух классов у Линнея (Насекомые и Черви). Среди них такие группы, как Ракообразные, Паукообразные, Насекомые, сохранились до наших дней, другие группы — Моллюски, Кольчатые — возведены в ранг типа (рис. 2). Несовершенство систематики Ламарка объясняется уровнем науки того времени, но в ней есть главное — стремление избежать искусственности группировок. Можно сказать, что Ламарк заложил основы *естественной системы классификации*. Он же впервые поставил вопрос о причинах сходства и различий у животных: «Мог ли я рассматривать... ряд животных от самых совершенных из них до несовершеннейших, — писал Ламарк, — и не попытаться установить, от чего может зависеть этот столь замечательный факт?» Ламарк приходит к *эволюционной идее*. Величайшая заслуга этого ученого заключается в том, что эволюционная идея у него тщательно разработана, подкреплена множеством фактов и поэтому стала *теорией*. В основу ее положены представления о постепенном развитии от простого к сложному и о роли *внешней среды* в преобразовании организмов.

В своем основном труде «Философия зоологии», опубликованном в 1809 г., Ламарк приводит многочисленные доказательства

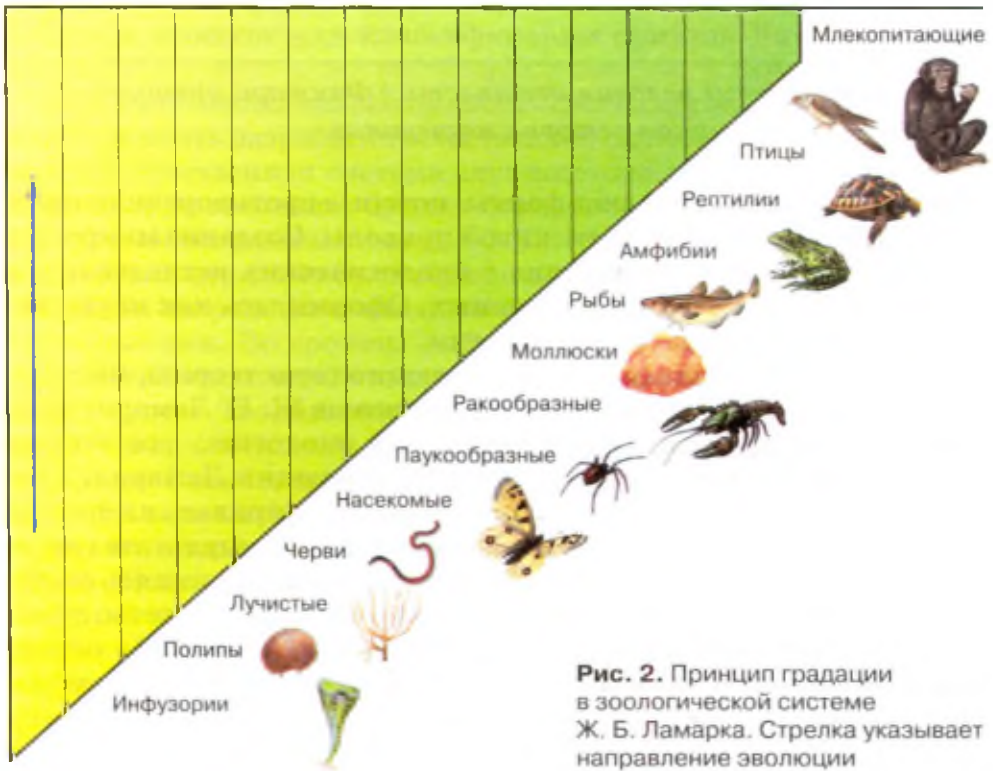


Рис. 2. Принцип градации в зоологической системе Ж. Б. Ламарка. Стрелка указывает направление эволюции

изменяемости видов. К числу таких доказательств Ламарк относит изменения животных под влиянием одомашнивания и растений под влиянием окультуривания, при переселении организмов в другие места обитания с иными условиями существования. Важную роль в возникновении новых видов Ламарк отводит постепенным изменениям гидрогеологического режима и климатических условий на поверхности Земли. Таким образом, в анализ биологических явлений Ламарк включает два новых фактора: фактор времени и условия внешней среды. Это был большой шаг вперед по сравнению с механистическими представлениями сторонников неизменности видов. Однако каковы же механизмы изменчивости организмов и образования новых видов? Ламарк считал, что их два: во-первых, стремление организмов к совершенствованию, а во-вторых, прямое влияние внешней среды и наследование признаков, приобретенных в течение жизни организма.

Взгляды Ламарка на механизм эволюции оказались ошибочными. Пути приспособления живых организмов к окружающей

среде и видообразования спустя 50 лет открыл Ч. Дарвин. Заслуга Ламарка заключается в том, что он создал первую теорию эволюции органического мира, ввел принцип историзма как условие понимания биологических явлений и выдвинул в качестве главной причины изменчивости видов условия внешней среды.

Теория Ламарка не получила признания современников. Наука не была еще готова к принятию идеи эволюционных преобразований; сроки, о которых говорил Ламарк, — миллионы лет — казались невообразимыми. Доказательства причин изменчивости видов не были достаточно убедительными. Отводя решающую роль в эволюции прямому влиянию внешней среды, упражнению и неупражнению органов и наследованию приобретенных признаков, Ламарк не мог объяснить возникновения приспособлений, обусловленных «мертвыми» структурами. Например, окраска скорлупы птичьих яиц носит явно приспособительный характер, но объяснить этот факт с позиций теории Ламарка невозможно.

Спорам приверженцев неизменности видов и стихийных эволюционистов положила конец глубоко продуманная и фундаментально обоснованная *теория видообразования*, созданная Ч. Дарвином.



Вопросы для повторения и задания

1. Чем можно объяснить господство представлений о неизменности видов в XVIII в.?
2. Какой вклад в биологию внес Ж. Б. Ламарк? Изложите основные положения эволюционной теории Ламарка.
3. Охарактеризуйте верные и ошибочные положения теории эволюции Ж. Б. Ламарка.
4. Могут ли наследоваться признаки, приобретенные в течение жизни организма?



Подумайте

Почему теория эволюции Ж. Б. Ламарка не получила признания современников?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

3

Теория Чарлза Дарвина о происхождении видов путем естественного отбора

Основной труд Ч. Дарвина — «Происхождение видов», в корне изменивший представление о живой природе, появился в 1859 г. Этому событию предшествовала более чем двадцатилетняя работа по изучению и осмысливанию богатого фактического материала, собранного как самим Дарвином, так и другими учеными.

3. Научные и социально-экономические предпосылки возникновения теории Чарлза Дарвина

Вспомните!

• Эмбриология • Палеонтология • Клеточная теория

Чтобы полнее оценить все значение переворота в биологической науке, совершенного Ч. Дарвином, обратим внимание на состояние науки первой половины XIX в., когда создавалась его теория естественного отбора.

Геолог Ч. Лайель в своих работах показал, что поверхность Земли изменяется непрерывно и не под влиянием каких-либо особых сил, а под действием повседневных факторов — колебаний температуры, ветра, дождя, приливов и отливов, прибое и жизнедеятельности растений и животных. К числу постоянно действующих природных факторов Лайель отнес землетрясения, извержения вулканов.

Сходные мысли задолго до Лайеля высказывали М. В. Ломоносов в своем труде «О слоях земных» и Ламарк. Но Лайель подкрепил свои взгляды многочисленными и строгими доказательствами. Теория Лайеля оказала большое влияние на формирование мировоззрения Ч. Дарвина.

В биологии был сделан ряд крупных открытий, которые оказались несовместимыми с представлениями о неизменяемости природы, об отсутствии родства между видами. Клеточная теория

Т. Шванна показала, что в основе строения всех живых организмов лежит один и тот же структурный элемент — клетка. Исследования развития зародышей позвоночных животных позволили обнаружить у эмбрионов птиц и млекопитающих жаберные дуги и жаберное кровообращение, что наталкивало на мысль о родстве рыб, птиц и млекопитающих и о происхождении наземных позвоночных от предков, ведущих водный образ жизни. Русский ученый К. Бэр показал, что развитие всех организмов начинается с яйцеклетки и что на ранних стадиях развития обнаруживается поразительное сходство в строении зародышей животных, относящихся к разным классам.

В самых разных областях естествознания (геология, палеонтология, биогеография, эмбриология, сравнительная анатомия, учение о клеточном строении организмов) собранные учеными материалы противоречили представлениям о божественном происхождении и неизменяемости природы. Правильно объяснить все эти факты, обобщить их, создать теорию эволюции сумел Ч. Дарвин.

Чарлз Роберт Дарвин родился 12 февраля 1809 г. в семье врача. В университете он учился сначала на медицинском, потом на богословском факультетах и собирался стать священником. В то же время он проявлял большую склонность к естественным наукам, увлекался геологией, ботаникой и зоологией. После окончания университета Дарвину предложили (1831) место натуралиста на корабле «Бигль», отправляющемся в кругосветное путешествие для картографических съемок. Дарвин принял приглашение, и пять лет, проведенные им в экспедиции (1831—1836), стали поворотным пунктом в его собственной научной судьбе и в истории биологии.

Наблюдения, сделанные во время путешествия, заставили Дарвина задуматься над причинами сходства и различий между видами. Главная его находка, обнаруженная в геологических отложениях Южной Америки, — это скелеты вымерших гигантских млекопитающих, очень сходных с современными броненосцами и ленивцами.

Еще большее впечатление произвело на Дарвина изучение видового состава животных на Галапагосских островах. На каждом из этих вулканических островов сравнительно недавнего происхождения Дарвин обнаружил близкие виды вьюрков, различающиеся между собой характером питания и формой клюва. Оказалось, что одни питаются твердыми семенами, другие — насекомыми, третьи — нектаром цветков растений. Казалось маловероятным,

чтобы для каждого вновь возникающего вулканического острова Творец создавал свои особые виды животных. Разумней было бы сделать другой вывод: птицы попали на остров с материка и изменились вследствие приспособления к новым условиям обитания. Таким образом, Дарвин ставит вопрос о роли условий среды в видообразовании. Аналогичную картину Дарвин наблюдал и у берегов Африки. Животные, обитающие на островах Зеленого Мыса, имели некоторое сходство с материковыми видами, хотя и отличались от них существенными чертами. Помимо этого с позиции сотворения видов Дарвин не мог объяснить особенности развития описанного им грызуна туко-туко. Этот грызун, живущий в норах под землей, рождает зрячих детенышей, которые затем слепнут.

В Австралии Дарвина заинтересовала древняя фауна: сумчатые и яйцекладущие животные, которые вымерли в других местах земного шара. Австралия как материк обособилась раньше, чем возникли высшие млекопитающие, поэтому древние примитивные животные оказались в Австралии в изоляции. Развитие древних сумчатых и яйцекладущих шло независимо от млекопитающих, обитавших на других материках.

Перечисленные и многие другие факты поколебали веру Дарвина в сотворение видов. Вернувшись в Англию, он поставил перед собой задачу разрешить вопрос о происхождении видов.



Вопросы для повторения и задания

1. Какие данные геологии послужили предпосылкой эволюционной теории Дарвина?
2. Какие открытия в биологии способствовали формированию эволюционных взглядов Ч. Дарвина?
3. Какие наблюдения Ч. Дарвина поколебали его веру в неизменность видов?



Подумайте

Почему основы современной теории эволюции биологических видов не могли быть заложены ранее середины XIX в.?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

4. Учение Чарлза Дарвина об искусственном отборе

Вспомните!

- Селекция • Породы животных • Сорты растений
- Изменчивость признаков • Мутации

Дарвин вернулся в Англию из кругосветного путешествия убежденным сторонником изменяемости видов под влиянием условий обитания. Данные геологии, палеонтологии, эмбриологии и других наук также указывали на изменяемость органического мира. Однако большинство ученых не признавали эволюции: никто не наблюдал превращения одних видов в другие. Поэтому Дарвин сосредоточил свои усилия на раскрытии механизма эволюционного процесса. С этой целью он обратился к практике сельского хозяйства Англии. Английские фермеры и любители вывели к этому времени 150 пород голубей, много пород собак, крупного рогатого скота, кур и т. д. Интенсивно велась работа по селекции новых сортов культурных растений. Сторонники постоянства видов утверждали, что каждый сорт, каждая порода имеют особого дикого предка. Дарвин доказал, что это не так. Все породы кур происходят от дикой банкивской курицы, домашние утки — от



Рис. 3. Изменчивость признаков пород домашней канарейки. Посередине слева — дикая исходная форма, ввезенная в Европу в XVI в.



Рис. 4. Гребни петухов разных пород

дикой кряковой утки, предками крупного рогатого скота были два вида диких туров. При этом породы животных и сорта растений, происходящие от одного предка, могут очень резко различаться. Рассмотрите рисунок 3. На нем показаны некоторые породы домашней канарейки. У них разные пропорции тела, размеры, оперение и т. д., хотя все они происходят от одного предка.

Чрезвычайно разнообразны гребни петухов разных пород (рис. 4). Аналогичная картина наблюдается среди сортов культурных растений. Очень различаются между собой, например, сорта капусты. Из одного дикого вида человеком получены кочанная капуста, цветная капуста, кольраби, кормовая капуста, стебель которой превышает рост человека, и др.

Культурные растения и домашние животные служат для удовлетворения потребностей человека — материальных или эстетических. Одно это убедительно доказывает, что они созданы человеком. Каким же образом человек получил эти сорта растений и породы животных, на какие свойства живых организмов опирался он в своей работе? Ответ на этот вопрос Дарвин нашел, изучая методы английских фермеров. В их основе лежал один принцип: разводя животных или растения, они оставляли для размножения только те организмы, у которых нужный признак был выражен наиболее сильно.

Например, поставлена задача повысить урожайность пшеницы. Селекционер из огромной массы растений выбирает несколько лучших экземпляров с наибольшим числом колосков. В следующем году он высевает зерна только этих растений и среди них снова отыскивает экземпляры с наибольшим числом колосков. Так продолжается несколько лет, и в результате появляется новый сорт многоколосковой пшеницы.

В основе работы по выведению нового сорта растений (или породы животных) лежит *изменчивость* признаков у организмов и отбор человеком таких изменений, которые наиболее уклоня-



Рис. 5. Анконская, или коротконогая, овца — порода, возникшая в результате мутаций

ются в желательную для него сторону. В ряду поколений такие изменения накапливаются и становятся устойчивым признаком породы. Для отбора имеет значение только индивидуальная (мутационная) изменчивость. *Мутация* — это внезапное изменение наследственных свойств организма, приводящее к изменению тех или иных его признаков. Это явление достаточно редкое, поэтому искусственный отбор может быть успешным лишь в том случае, если его проводят среди большого числа особей. Известны также случаи, когда к возникновению новой породы приводит единичная крупная мутация. Так появились анконская порода коротконогих овец (рис. 5), такса, утка с крючковатым клювом. Особи с резко измененными признаками были сохранены и использованы человеком для создания новой породы.

Следовательно, под искусственным отбором *понимается процесс создания новых пород животных и сортов культурных растений путем систематического отбора и размножения особей с определенными, ценными для человека признаками и свойствами.*

Таким образом, изучение методов селекции, применявшихся в сельском хозяйстве Англии XIX в., позволило Дарвину сформулировать принцип искусственного отбора и с помощью этого принципа объяснить не только причину совершенствования форм, но и их многообразие.



Вопросы для повторения и задания

1. Опишите методы выведения новых сортов и пород.
2. Приведите примеры многообразия пород домашних животных и сортов культурных растений. Чем объясняется это многообразие?

3. Чем отличаются одомашненные животные и растения от диких видов?
4. Назовите известные вам породы собак.

Подумайте

Почему искусственный отбор — выведение новых пород домашних животных и сортов культурных растений — может быть успешным только в условиях крупнотоварного сельскохозяйственного производства?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

5. Учение Чарлза Дарвина о естественном отборе

Вспомните!

- *Размножение половое* • *Размножение бесполое* • *Партеногенез*
- *Хищничество* • *Паразитизм*

Искусственный отбор, т. е. сохранение для размножения особей с полезными признаками и устранение всех остальных, проводит человек, ставящий перед собой определенные задачи. Признаки, накапливаемые при искусственном отборе, полезны для человека, но не всегда для самих животных и растений. Дарвин высказал предположение, что в природе сходным путем накапливаются признаки, полезные только для организмов и вида в целом, в результате чего образуются виды и разновидности. В этом случае требовалось установить наличие индивидуальной изменчивости у диких животных и растений. Кроме того, необходимо было доказать существование в природе какого-то направляющего фактора, действующего аналогично воле человека в процессе искусственного отбора.

Индивидуальная изменчивость. Дарвин показал, что у представителей диких видов животных и растений индивидуальная изменчивость наблюдается очень широко. Индивидуальные отклонения могут быть полезными, нейтральными или вредными для организма. Все ли особи оставляют потомство? Если нет, то какие факторы сохраняют особей с полезными признаками и уст-

раняют всех остальных? Дарвин обратился к анализу размножения организмов.

Избыточная численность потомства. Все организмы оставляют потомство, иногда очень многочисленное. Севрюга откладывает до 400 тыс. икринок, судак — 300—900 тыс., жабы — около 10 тыс. Даже медленно размножающиеся животные потенциально способны оставить огромное число потомков. Буревестник откладывает одно яйцо, но это одна из самых многочисленных птиц на Земле. Рождающие, как правило, одного детеныша парнокопытные (северные олени, антилопы) образуют громадные стада. На основе многих примеров Дарвин приходит к выводу о том, что в природе любой вид животных и растений стремится к размножению в геометрической прогрессии. В то же время число взрослых особей каждого вида остается относительно постоянным.

Борьба за существование. Каждая пара организмов дает гораздо больше потомков, чем их доживает до взрослого состояния. Большая часть появившихся на свет организмов гибнет, не достигнув половой зрелости. Причины гибели разнообразны: недостаток корма из-за конкуренции с представителями своего же вида, нападение врагов, действие неблагоприятных физических факторов среды — засухи, сильных морозов, высокой температуры и пр. Отсюда следует второй вывод, сделанный Дарвином: в природе происходит непрерывная борьба за существование. Этот термин следует понимать в широком смысле, как любую зависимость организмов от всего комплекса условий окружающей его живой и неживой природы. Иначе говоря, *борьба за существование* — это совокупность многообразных и сложных взаимоотношений, существующих между организмами и условиями среды. Когда лев отнимает добычу у гиен, подразумевается борьба за пищу. Про растение на окраине пустыни можно сказать, что оно ведет борьбу против засухи, но точно так же предполагается, что оно зависит от влажности.

Дарвин выделил три основные формы борьбы за существование: а) межвидовую, б) внутривидовую, в) борьбу с неблагоприятными условиями внешней среды.

Межвидовая борьба. Примеры межвидовой борьбы многочисленны. И волки, и лисы охотятся на зайцев. Между волками и зайцами, а также между лисами и зайцами идет напряженная борьба за существование. Отсутствие добычи обрекает хищников на голод и гибель. В то же время между хищниками — волками и лисами — тоже существует конкуренция за пищу. Это не зна-

чит, что они непосредственно вступают в борьбу друг с другом, но успех одного означает неуспех другого. Травоядные животные смогут выжить и оставить потомство только в том случае, если они сумеют избежать хищников и будут обеспечены пищей. Но растительностью питаются разные виды млекопитающих, а кроме того, насекомые и моллюски: что досталось одному, не достанется другому. Существование трав, в свою очередь, зависит не только от поедания их животными, но и от других условий — опыления цветков насекомыми, конкуренции с другими растениями за свет, влагу и т. д. Беспрепятственное размножение микроорганизмов сдерживают, помимо прочих факторов, антибиотики, выделяемые грибами, и фитонциды, образуемые зелеными растениями. Формой межвидовой борьбы является паразитизм: паразиты ослабляют организм хозяина, делают его менее конкурентоспособным.

Внутривидовая борьба. В приведенных примерах напряженность борьбы между видами ослабляется тем, что, как правило, организмы имеют не один, а несколько источников питания. Например, лиса питается не только зайцами, но и мышами, и птицами. У особей же одного вида потребности в пище, территории и других условиях существования одинаковы. Поэтому конкуренция между ними особенно остра (рис. 6). Дарвин



Рис. 6. Самцы ягуара устрашают друг друга, охраняя свою территорию

считал внутривидовую борьбу самой напряженной. Например, птицы одного вида конкурируют из-за мест гнездования. Самцы многих видов млекопитающих и птиц в период размножения вступают друг с другом в борьбу за возможность обзавестись семьей.

Борьба с неблагоприятными условиями внешней среды. Факторы неживой природы оказывают огромное влияние на выживаемость организмов. Много растений гибнет во время холодных малоснежных зим. В сильные морозы смертность увеличивается и среди животных, обитающих в почве (кроты, дождевые черви). Зимой при недостатке растворенного в воде кислорода погибает рыба. Семена растений нередко заносятся ветром в неблагоприятные места обитания и не прорастают.

Все формы борьбы за существование сопровождаются гибелью огромного количества организмов или приводят к тому, что часть их не оставляет потомства.

Естественный отбор. Кто же выживает в этой постоянно происходящей борьбе за существование? Наблюдения показывают, что для растительных и животных организмов характерна всеобщая изменчивость признаков, свойств и бесконечное разнообразие их комбинаций. Даже в потомстве одной пары родителей нет совершенно одинаковых особей (за исключением монозиготных, или однояйцевых, близнецов, развившихся из одного оплодотворенного яйца — зиготы). В борьбе за существование выживают и оставляют потомство индивидуумы, обладающие таким наследственным комплексом признаков и свойств, который позволяет наиболее успешно конкурировать с другими. Таким образом, в природе происходят процессы избирательного уничтожения одних особей и преимущественного размножения других — явление, названное Дарвином *естественным отбором* (или *выживанием наиболее приспособленных*).

При изменении условий внешней среды полезными для выживания могут оказаться какие-то другие, новые признаки. В результате меняется направление отбора, перестраивается генетическая структура вида. Благодаря размножению новые признаки широко распространяются, и в итоге появляется новый вид.

Следовательно, виды изменяются в процессе приспособления к условиям внешней среды. *Движущей силой изменения видов, т. е. эволюции, является естественный отбор.* Материалом для отбора служит наследственная (индивидуальная, мутационная)

изменчивость. Изменчивость, обусловленная прямым влиянием внешней среды на организмы, не имеет значения для эволюции, поскольку по наследству не передается.

Действие естественного отбора можно наблюдать на опыте. Разберем несколько примеров.

В нашей стране широко распространен богомол обыкновенный — крупное хищное насекомое (длина тела у самок достигает 48—76 мм), питающееся разнообразными мелкими насекомыми — тлями, клопами, мухами. Окраска разных особей этого вида бывает зеленой, желтой и бурой. Богомолы зеленого цвета обычно встречаются среди травы и кустарников, бурые — на растениях, выгорающих от солнца. Неслучайность такого распределения животных ученые доказали в эксперименте на расчищенной от травы площадке блекло-бурого цвета. К колышкам на площадке были привязаны богомолы всех трех цветов. За время опыта птицами были уничтожены 60% желтых, 55% зеленых и только 20% бурых богомолов, у которых окраска тела совпадала с цветом фона.

Аналогичные опыты были поставлены с куколками бабочки-крапивницы. В случае несоответствия окраски куколки окраске фона птицы уничтожали гораздо больше куколок, чем в случае совпадения фона с окраской. Водоплавающие птицы в бассейне ловят преимущественно рыбу, окраска которой не соответствует цвету дна.

Важно отметить, что для выживания имеет значение не один какой-либо признак, а комплекс признаков. В том же опыте с богомолами, очень простом по сравнению с реальными природными условиями, среди бурых особей, защищенных окраской тела, птицы склевывали беспокойных, активнодвигающихся насекомых. Спокойные малоподвижные богомолы избегали нападения. Один и тот же признак в зависимости от окружающих условий может способствовать выживанию или, напротив, привлекать внимание врагов.

Следовательно, согласно учению Дарвина, факторами естественного отбора служат условия внешней среды, точнее — весь комплекс абиотических (небиологических) и биотических условий среды. В зависимости от этих условий естественный отбор действует в разных направлениях и приводит к неодинаковым эволюционным результатам. В настоящее время различают несколько форм естественного отбора, из которых ниже будут рассмотрены только основные.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое естественный отбор?
2. В чем биологическое значение естественного отбора?
3. Что такое борьба за существование? Каковы ее формы?
4. Какая форма борьбы за существование является наиболее напряженной и почему?
5. Что служит движущей силой изменения видов?
6. Что служит материалом для естественного отбора?
7. Существует ли естественный отбор у человека?

Подумайте

В чем заключается сходство между искусственным и естественным отбором?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

6. Формы естественного отбора

Вспомните!

- Многообразие видов
- Гаттерия
- Гинкго
- Латимерия

Движущий отбор. Этот отбор способствует сдвигу среднего значения признака или свойства и приводит к появлению новой формы вместо старой, переставшей соответствовать новым условиям. *Движущая форма естественного отбора действует при изменении условий внешней среды.*

Ярким примером действия движущего отбора служит возникновение устойчивости животных к ядохимикатам.

Таким образом, ведущая роль в распространении новых признаков внутри данного вида при изменении условий внешней среды принадлежит движущей форме естественного отбора.

Изменение признака может происходить как в сторону его усиления, большей выраженности, так и в сторону ослабле-



Рис. 7. Древнейшие животные, сохранившиеся в современной фауне: гаттерия (вверху) и латимерия (внизу)



ния, вплоть до полного исчезновения. Примером утраты признака, как результата действия движущего отбора, может служить редукция глаз у кротов, ведущих подземный образ жизни.

Отбор устраняет от размножения менее удачных особей или, другими словами, менее удачные комбинации генов. Можно говорить о творческой роли естественного отбора, поскольку результатом его действия являются новые виды организмов, новые формы жизни.

Стабилизирующий отбор действует в постоянных условиях среды. На значение этой формы отбора указал выдающийся русский ученый И. И. Шмальгаузен. Стабилизирующий отбор направлен на поддержание ранее сложившегося среднего значения признака или свойства: размеров тела или отдельных его частей у животных, размеров и формы цветка у растений, концентрации гормонов или глюкозы в крови у позвоночных и т. д. Так, у насекомоопыляемых растений размеры и форма цветков очень устойчивы. Объясняется это тем, что цветки должны соответст-

вывать строению и размерам тела насекомых-опылителей. Шмель не способен проникнуть в слишком узкий венчик цветка, бабочка не сможет хоботком коснуться слишком коротких тычинок у растений с очень длинным венчиком. В обоих случаях цветки, не вполне соответствующие строению опылителей, не образуют семян. Следовательно, гены, обусловившие отклонение от нормы, устраняются из генофонда вида. Стабилизирующая форма естественного отбора предохраняет сложившийся генотип от разрушающего действия мутационного процесса. В относительно постоянных условиях внешней среды наибольшей приспособленностью обладают особи со средней выраженностью признаков, а резкие отклонения от средней нормы устраняются. Благодаря стабилизирующему отбору до наших дней сохранились «живые ископаемые»: кистеперая рыба латимерия, предки которой были широко распространены в палеозойскую эру; представитель древних рептилий гаттерия, внешне похожая на крупную ящерицу (рис. 7); голосеменное растение гинкго, дающее представление о древних формах, вымерших в юрском периоде мезозойской эры. Ныне живущий североамериканский опоссум сохраняет облик, характерный для животных, живших десятки миллионов лет назад.

Половой отбор. У раздельнополых животных самцы и самки различаются не только по строению органов размножения, но и по внешним признакам, поведению. вспомните яркий наряд из перьев у петуха, крупный гребень, шпоры на ногах, громкое пение. Очень красивы самцы фазанов по сравнению с гораздо более скромными курочками. Клыки верхних челюстей — бивни — особенно сильно разрастаются у самцов моржей. Внешние различия в строении полов носят название *полового диморфизма* (рис. 8) и обусловлены их ролью в половом отборе. *Половой отбор* представляет собой конкуренцию самцов за возможность размножения. Этой цели служат пение, демонстративное поведение (рис. 9), ухаживание, а нередко и драки между самцами (рис. 10).

У птиц разбивка на пары в период размножения сопровождается брачными играми, или токованием. Токующие самцы принимают своеобразные позы, совершают особые движения, развертывают и раздувают оперение, издают характерные звуки. Например, тетерева на токах собираются по нескольку десятков на лесных полянах еще ночью. Разгар тока приходится на раннее утро. Между самцами возникают жестокие драки, а самки в это время сидят на опушках поляны или в кустах. В результате по-



Рис. 8. Половой диморфизм у морских львов: слева — самец, справа — самка



Рис. 9. Токующий глухарь — пример характерного полового поведения в период размножения

лового отбора потомство оставляют наиболее активные, здоровые и сильные самцы, остальные отстраняются от размножения и их генотипы исчезают из генофонда вида.



Рис. 10. Во время брачного сезона самцы оленей борются за обладание самками

Иногда яркий брачный наряд появляется у животных только на период размножения. Самцы остромордой лягушки приобретают в воде красивую ярко-голубую окраску. Яркая окраска самцов и их демонстративное поведение демаскируют их перед хищниками и увеличивают вероятность гибели. Однако это выгодно для вида в целом, так как самки в период выведения потомства остаются в большей безопасности.

Половой диморфизм и половой отбор распространены в животном мире достаточно широко, вплоть до приматов (рис. 11). Эту форму отбора следует рассматривать как частный случай внутривидового естественного отбора.

Дарвин показал, что принцип естественного отбора объясняет возникновение всех без исключения основных характеристик органического мира: от признаков, свойственных крупным систематическим группам живых организмов, до мелких приспособлений. Теорией Дарвина завершились длительные поиски естествоиспытателей, которые пытались найти объяснение многим чертам сходства у организмов, относящихся к разным видам. Дарвин объяснил это сходство родством и показал, как идет образование новых видов, как происходит эволюция.

С общетеоретической точки зрения главное в учении Дарвина — это идея развития живой природы, противостоящая представлению о застывшем, неизменяющемся мире. Признание учения Дарвина стало переломным моментом в истории биологических наук. Факты, накопленные в додарвиновский период



Рис. 11. Половой диморфизм у приматов.
Белорукий гиббон: слева — самка, справа — самец

развития биологии, получили новое освещение. Возникли новые направления в биологии — эволюционная эмбриология, эволюционная палеонтология и др.

Учение Дарвина служит естественно-научной основой для материалистического объяснения целесообразности строения живых организмов, происхождения и многообразия видов.

Ряд понятий эволюционной теории выходит за рамки чисто биологических и приобретает общенаучный и философский статус. Такие критерии прогрессивной эволюции живого, как дифференциация и интеграция частей организма, избыточность и надежность, используются при изучении закономерностей технического и общественного прогресса. Таким образом, эволюционная теория близко связана с философией, изучающей общие законы развития.

Труд Дарвина явился одним из крупнейших достижений естествознания XIX в. В XX в. эволюционное учение Дарвина было развито и дополнено благодаря созданию хромосомной теории наследственности, развитию молекулярной биологии и генетики, эмбриологии, экологии и других областей биологии.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие существуют формы естественного отбора?
2. В каких условиях внешней среды действуют разные формы отбора?
3. Почему у микроорганизмов — вредителей сельского хозяйства и других организмов появляется устойчивость к ядохимикатам?
4. Что такое половой отбор? Приведите примеры.

Подумайте

Почему из всех факторов эволюции движущей силой эволюции называют только естественный отбор?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

Глава

4

Приспособленность организмов к условиям внешней среды как результат действия естественного отбора

Растения и животные удивительно приспособлены к условиям среды, в которых они обитают. В понятие «приспособленность вида» входят не только внешние признаки, но и соответствие строения внутренних органов выполняемым ими функциям (например, длинный и сложно устроенный пищеварительный тракт жвачных животных, питающихся растительной пищей). Соответствие физиологических функций организма условиям их обитания, их сложность и разнообразие также входят в понятие приспособленности.

7. Приспособительные особенности строения, окраски тела и поведения животных

Вспомните!

- Покровительственная окраска • Предупреждающая окраска
- Приспособительное поведение • Демонстративное поведение
- Мимикрия • Тигр • Зебра • Черепаха • Пустынные амфибии
- Скот • Камбала

У животных приспособительной является *форма тела*. Хорошо известен облик водного млекопитающего — дельфина. Его движения легки и точны, а скорость движения в воде достигает 40 км/ч. Плотность воды в 800 раз выше плотности воздуха. Как дельфину удается преодолеть ее? Этому способствует торпедовидная форма его тела, благодаря которой не образуются тормозящие движение завихрения потоков воды, обтекающих дельфина.

Обтекаемая форма тела способствует быстрому передвижению животных и в воздушной среде. Маховые и контурные перья, покрывающие тело птицы, полностью сглаживают его форму. У птиц нет выступающих ушных раковин, в полете они обычно втягивают ноги. В результате по скорости передвижения они намного превосходят всех других животных. Например, сокол сапсан пикирует на свою жертву со скоростью до 290 км/ч. Птицы быстро двигаются даже в воде. Наблюдали антарктического пингвина, плывущего под водой со скоростью около 35 км/ч.

У животных, ведущих скрытый образ жизни, полезными оказываются приспособления, придающие им сходство с предметами окружающей среды. Причудливая форма тела рыб, обитающих в зарослях водорослей (рис. 12, 13), помогает им успешно скрываться от врагов. Сходство с предметами среды обитания широко распространено у насекомых. Известны жуки, внешне напоминающие лишайники, цикады, сходные с шипами тех кустарников, среди которых они живут. Насекомые палочники и гусеницы пяденицы похожи на бурые или зеленые веточки (рис. 15), а некоторые насекомые имитируют листья деревьев и кустарников, среди которых они обитают (рис. 14, 16). Уплощенное в спинно-брюшном направлении тело имеют рыбы, ведущие придонный образ жизни.

Средством защиты от врагов служит и *покровительственная окраска*. Благодаря ей птицы, насиживающие яйца на земле,



Рис. 12. Форма тела морского конька (слева) делает его незаметным на фоне водорослей



Рис. 13. Неяркая окраска и вытянутое тело морских игл позволяют им скрыться в зарослях водорослей

сливаются с окружающим фоном. Мало заметны и их яйца, имеющие пигментированную скорлупу, и вылупляющиеся из них птенцы (рис. 17, 18). Защитный характер пигментации яиц подтверждается тем, что у птиц, чьи яйца недоступны для врагов, покровительственная окраска скорлупы не развивается.

Покровительственная окраска широко распространена среди самых различных животных. Гусеницы бабочек часто зеленые, под цвет листьев, или темные, под цвет коры или земли. Донные рыбы обычно окрашены под цвет песчаного дна (скаты и камбалы). При этом камбалы могут еще и менять окраску в зависимости от цвета окружающего фона (рис. 19). Способность менять окраску путем перераспределения пигмента в покровах тела известна и у наземных животных, например у хамелеона (рис. 20). Животные пустынь имеют, как правило, желто-бурую или песочно-желтую окраску. Однотонная покровительственная

Рис. 14. Индийский растительный клоп



Рис. 15. Гусеница пяденицы в позе покоя



Рис. 16. Бабочка каллима на кустарнике

окраска свойственна как насекомым (саранча) и мелким ящерицам, так и крупным копытным (антилопы, олени) и хищникам (лев).

Если фон среды изменяется в зависимости от сезона года, многие животные меняют окраску. Например, у обитателей средних и высоких широт (песец, заяц, горностай, белая куропатка) после осенней линьки мех или оперение становятся белыми, что делает их незаметными на снегу.

Однако нередко у животных окраска тела не маскирует их, а, напротив, привлекает к ним внимание. Такая окраска свойственна, например, ядовитым или жалящим насекомым: пче-



Рис. 17. Тундровая куропатка у гнезда



Рис. 18. Малый зуек на кладке яиц

лам, осам, жукам-нарывникам. Божью коровку, очень заметную, птицы не склевывают из-за выделяемого ею ядовитого секрета. Яркую *предупреждающую окраску* имеют несъедобные гусеницы, многие ядовитые змеи. Такая окраска заранее предупреждает хищника о бесполезности и даже опасности нападения. Методом «проб и ошибок» хищники быстро приучаются «обходить стороной» потенциальную жертву с предупреждающей окраской.

Защитное действие покровительственной окраски повышается при сочетании ее с соответствующим поведением. Например, выпь гнездится в камышах. В минуты опасности она вытягивает шею, поднимает вверх голову и замирает. В такой позе ее трудно обнаружить даже на близком расстоянии. Многие другие животные, не обладающие средствами активной защиты, в случае опасности принимают позу покоя (насекомые, рыбы, амфибии, птицы) (см. рис. 15). Предостерегающая окраска у животных, наоборот, сочетается с демонстративным поведением, отпугивающим хищника (рис. 21).

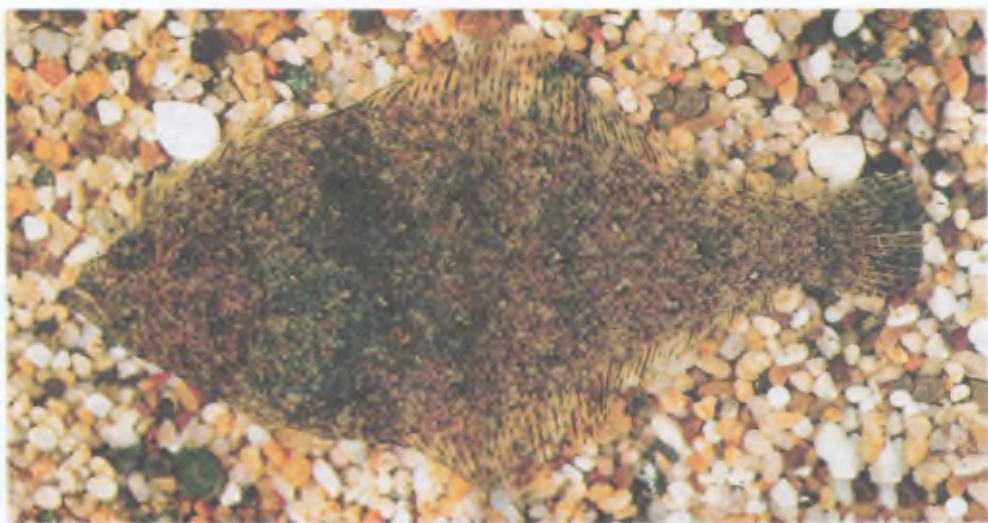
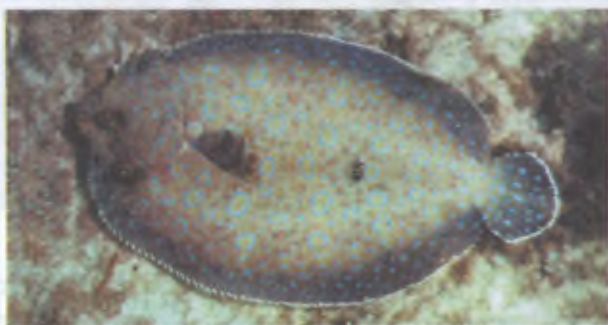


Рис. 19. Некоторые придонные рыбы, например камбала, обладают способностью «подстраивать» свою окраску под цвет и характер морского дна



Эффективность предостерегающей окраски явилась причиной очень интересного явления — подражания (мимикрии, от греч. *μιμος* — актер). *Мимикрией* называют сходство беззащитного

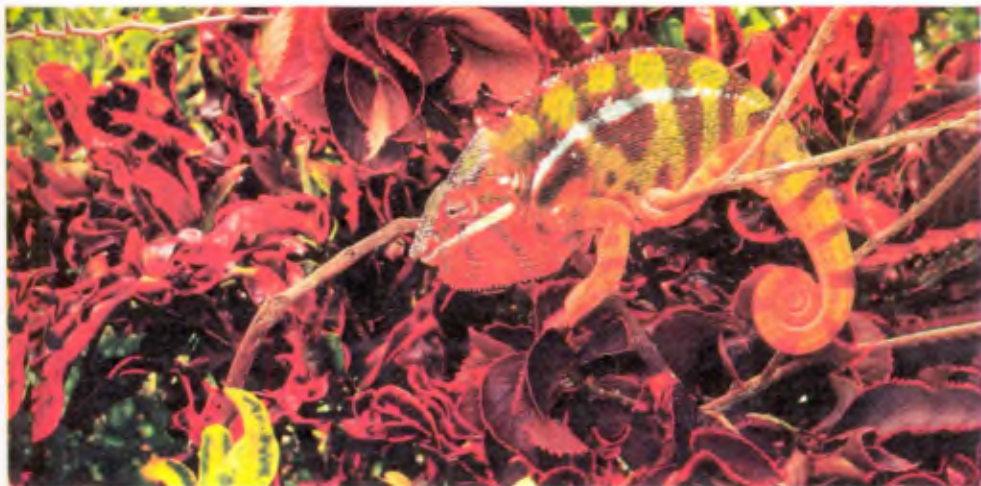


Рис. 20. Хамелеоны меняют окраску в соответствии с окружающим фоном

или съедобного вида с одним или несколькими неродственными ему видами, хорошо защищенными и обладающими предостерегающей окраской. С божьей коровкой размерами, формой тела и распределением пигментных пятен очень сходен один из видов тараканов. Некоторые съедобные бабочки формой тела, окраской



Рис. 21. Устрашающая поза австралийской бородатой ящерицы часто отпугивает от нее врагов



Рис. 22. Бабочка данаида (слева) обязана своей несъедобностью тому, что ее гусеницы питаются листьями ядовитого растения. В ее тканях содержатся вещества, вызывающие у птиц сильное отравление. Птицы быстро научаются не трогать данаид, а заодно и их раздражителей — съедобных нимфалид (справа)

подражают ядовитым бабочкам (рис. 22), мухи — осам. Возникновение мимикрии связано с накоплением под контролем естественного отбора мелких удачных мутаций у съедобных видов в условиях их совместного обитания с несъедобными. Подражательная окраска скорлупы яиц наблюдается в случае гнездового паразитизма у птиц. Обыкновенная кукушка, как известно, сама не насиживает яиц, а откладывает их в гнезда птиц других видов (рис. 23). При этом яйца кукушки настолько похожи на яйца вида-хозяина, что самка не может различить их и насиживает вместе со своими, а затем выкармливает птенца (рис. 24).



Рис. 23. Яйцо малой кукушки в гнезде малой камышовки (слева). Справа — молодая малая кукушка



Рис. 24. Многие птицы вынуждены выкармливать птенцов кукушки. Вверху — пеночка кормит птенца глухой кукушки. Внизу — сибирский сорокопут выкармливает птенца индийской кукушки. Приемные родители выполняют свои обязанности, несмотря на то что птенцы превосходят их по размерам

Кроме окраски, у животных и растений наблюдаются и другие средства защиты. У растений нередко образуются иглы и колючки, защищающие их от поедания травоядными животными (кактусы, шиповник, боярышник, облепиха и др.). Такую же роль играют ядовитые вещества, обжигающие волоски, например у крапивы. Кристаллы щавелевокислого кальция, накапливающиеся в шипах некоторых растений, предохраняют их от поедания гусеницами, улитками и даже грызунами. Образования в виде твердого хитинового покрова у членистоногих (жуки, крабы), раковин у моллюсков, роговых щитков у крокодилов, панциря у броненосцев и черепах (рис. 25) спасают их от многих врагов. Этому же служат иглы у ежа и дикобраза. Все эти приспособления могли появиться лишь в результате естественного



Рис. 25. Толстый панцирь слоновой черепахи надежно защищает ее даже от крупных хищников

отбора, т. е. преимущественного выживания лучше защищенных особей.

Для выживания организмов в борьбе за существование большое значение имеет *приспособительное поведение*. Помимо затаивания или демонстративного, отпугивающего поведения при приближении врага, существует много других вариантов приспособительного поведения, обеспечивающего выживаемость взрослых особей или молоди. Так, многие животные запасают корм на неблагоприятный сезон года. В пустынях для многих видов время наибольшей активности — ночь, когда спадает зной.



Вопросы для повторения и задания

1. Приведите примеры приспособленности организмов к условиям существования на основании собственных наблюдений.
2. Почему у некоторых животных яркая, демаскирующая окраска, а у других, наоборот, покровительственная?
3. В чем сущность мимикрии?
4. Распространяется ли действие естественного отбора на поведение животных? Приведите примеры.
5. Каковы биологические механизмы возникновения приспособительной (скрывающей и предупреждающей) окраски у животных?



Подумайте

Существуют ли живые организмы, не имеющие приспособительных особенностей строения? Ответ обоснуйте.

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

8. Забота о потомстве

Вспомните!

- Пчелы • Муравьи • Птицы • Млекопитающие • Гнезда
- Охрана потомства

Большое значение для выживания вида имеют приспособления, обеспечивающие защиту потомства от врагов.

Забота о потомстве может проявляться в разной форме. Многие рыбы охраняют икру, откладываемую между камнями, активно отгоняя приближающихся возможных врагов. Азовские и каспийские бычки откладывают икру в ямки, вырытые на дне, и охраняют ее затем до вылупления мальков. Самец колюшки строит гнездо с выходом и входом и охраняет кладку яиц (рис. 26). Некоторые американские сомы прилепляют икру на брюхо и носят ее на себе все время развития. Некоторые рыбы (тилапия) вынашивают икру во рту (рис. 27) или даже в желудке. В это время родитель ничего не ест. Вылупившиеся мальки некоторое время держатся вблизи самки (или самца, в зависимости от вида) и при



Рис. 26. Самец и самка трехиглой колюшки перед откладкой икры в гнездо



Рис. 27. Мальки во рту рыбы



Рис. 28. Самка сумчатой лягушки вынашивает икру в сумке на спине



Рис. 29. Самец водяного клопа носит оплодотворенные яйца на спине

опасности прячутся в рот родителя. Существуют виды лягушек, у которых икринки развиваются в специальной выводковой сумке на спине (рис. 28) или в голосовых мешках самца. На спине носят оплодотворенные яйца некоторые насекомые (рис. 29).

Наибольшая безопасность потомства достигается, очевидно, в тех случаях, когда зародыши развиваются в теле матери (рис. 30). Плодовитость при этом (как и при многих других формах заботы о потомстве) снижается, однако сокращение численности потомства компенсируется лучшей выживаемостью молоди.

У членистоногих и низших позвоночных личинки ведут самостоятельный образ жизни и не зависят от родителей. Но в некоторых случаях родители обеспечивают их пищей. Знаменитый французский естествоиспытатель Ж. А. Фабр впервые описал та-



Рис. 30. Живородка

Рис. 31. Одиночная оса ординера тащит в свое гнездо парализованного, но живого кузнечика: будущая личинка обеспечена пищей



кое поведение у одиночных ос. Осы нападают на жуков, пауков, сверчков, богомолов, гусениц различных бабочек, обездвиживают их, погружая жало точно в нервные узлы (рис. 31), и откладывают на них яйца. Вылупляющиеся личинки ос обеспечены пищей: они питаются тканями живой жертвы, растут и затем окукливаются.

Описанные примеры заботы о потомстве у членистоногих и низших позвоночных встречаются у очень небольшого числа видов. В большинстве случаев оплодотворенные яйца бывают брошены на произвол судьбы. Именно этим объясняется очень высокая плодовитость беспозвоночных и низших позвоночных животных. Большое число потомков в условиях высокой истребляемости молоди служит средством борьбы за существование вида.

Гораздо более сложные и многообразные формы заботы о потомстве наблюдаются у высших позвоночных. Сложные инстинкты и способность к индивидуальному обучению позволяют им со значительно большим успехом выращивать потомство. Так, птицы откладывают яйца в специальные сооружения — гнезда. Яйца развиваются под влиянием тепла тела родителей и не зависят от случайностей погоды. Гнездо родители теми или иными способами защищают от врагов. Выведенных птенцов не оставляют на произвол судьбы, а длительное время выкармливают и охраняют (рис. 32). Все это резко повышает эффективность размножения у птиц.



Рис. 32. Синяя мухоловка выкармливает птенцов не только в младенчестве, но и позже, когда они начинают самостоятельно летать

Наивысшей сложности достигают формы поведения у млекопитающих животных. Это проявляется и в отношении к детенышам. Звери не только кормят и защищают свое потомство, но и обучают ловить добычу (рис. 33). Еще Дарвин отмечал, что хищ-



Рис. 33. Бурая медведица обучает медвежат ловле лососей. Молодые медвежата внимательно наблюдают за матерью и вскоре начинают повторять ее охотничьи повадки

ные звери учат своих детенышей избегать опасностей, в том числе охотников.

Таким образом, особи с более совершенными формами заботы о потомстве выживают и передают эти черты далее по наследству.

? Вопросы для повторения и задания

1. Почему у видов животных, заботящихся о потомстве, число потомков уменьшается? Приведите примеры.
2. В чем заключается относительный характер приспособительных признаков у организмов?

! Подумайте

Зависит ли степень развития заботы о потомстве от продолжительности периода детства, характерного для данного вида?

• Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

9. Физиологические адаптации

Вспомните!

- *Морские змеи* • *Верблюд* • *Пустынные черепахи* • *Линька*
- *Экхолокация* • *Спячка* • *Термолокация*
- *Суточная и сезонная активность*

Соответствующие форма и окраска тела, целесообразное поведение обеспечивают успех в борьбе за существование только тогда, когда эти признаки сочетаются с приспособленностью процессов жизнедеятельности к условиям обитания, т. е. с *физиологической адаптацией*. Без такой адаптации невозможно поддержание устойчивого обмена веществ в организме в постоянно колеблющихся условиях внешней среды. Приведем некоторые примеры.

Наземные амфибии много воды теряют через кожу. Однако при этом некоторые их виды проникают даже в пустыни и полу-

пустыни. Выживание амфибий в условиях недостатка влаги здесь обеспечивается целым рядом приспособлений. У них меняется характер активности: она приурочивается к периодам повышенной влажности. В умеренной зоне жабы и лягушки активны ночью и после выпадения дождей. В пустынях лягушки охотятся только ночью, когда влага конденсируется на почве и на растительности, а днем укрываются в норах грызунов. У пустынных видов амфибий, размножающихся во временных водоемах, личинки развиваются очень быстро и в сжатые сроки совершают метаморфоз.

Разнообразные механизмы физиологической адаптации к неблагоприятным условиям выработали птицы и млекопитающие. Многие пустынные животные перед наступлением засушливого сезона накапливают много жира: при его окислении образуется большое количество воды. Птицы и млекопитающие способны регулировать потери воды с поверхности дыхательных путей. Например, верблюд при лишении воды резко сокращает испарение как с дыхательных путей, так и через потовые железы.

У человека плохо регулируется солевой обмен, и поэтому он не может долго обходиться без пресной воды. Но рептилии и птицы, проводящие большую часть жизни в морских просторах и пьющие морскую воду, приобрели специальные железы, позволяющие им быстро избавляться от избытка солей (рис. 34).

Очень интересны приспособления, развивающиеся у ныряющих животных. Многие из них могут сравнительно долго обходиться без доступа кислорода. Например, тюлени ныряют на глубину 100—200 и даже 600 м и остаются под водой 40—60 мин. Что позволяет ластоногим нырять на столь длительный срок? Это прежде всего большое количество особого пигмента, находящегося в мышцах, — миоглобина. Миоглобин способен связать в 10 раз больше кислорода, чем гемоглобин, находящийся в эритроцитах.

Путем естественного отбора возникают и совершенствуются приспособления, облегчающие поиск пищи или партнера для размножения. Поразительны органы химического чувства насекомых. Самцы непарного шелкопряда улавливают запах ароматической железы самки с расстояния 3 км. У некоторых бабочек чувствительность вкусовых рецепторов в 1000 раз превосходит чувствительность рецепторов человеческого языка. У некоторых



Рис. 34. Морские змеи всю жизнь проводят в море

змей хорошо развита способность к термолокации. Они различают на расстоянии объекты, если разница их температур составляет всего $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Многие животные прекрасно ориентируются в пространстве с помощью эхолокации (летучие мыши, совы, дельфины).

Таким образом, строение живых организмов очень тонко приспособлено к условиям существования. Любой видовой признак или свойство носит приспособительный характер, целесообразен в данной среде, в данных жизненных условиях. Так, например, особенности организации насекомоядных растений приспособлены к ловле и перевариванию насекомых и даже мелких позвоночных (росянка, венерина мухоловка) (см. рис. 140, 141).

Приспособления не появляются в готовом виде, а представляют собой результат отбора случайных наследственных изменений, повышающих жизнеспособность организмов в конкретных условиях.

Ни один из приспособительных признаков не обеспечивает абсолютной безопасности для их обладателей. Большинство птиц не трогает ос и пчел, однако есть среди них виды, которые едят и ос, и пчел, и их раздражителей. Еж и птица-секретарь без всякого

вреда для себя поедают змей. Панцирь наземных черепах надежно защищает их от большинства врагов, но хищные птицы поднимают их в воздух и разбивают о землю.

Любые приспособления «срабатывают» только в обычной для вида обстановке. При изменении условий среды они оказываются бесполезными или даже вредными для организма. Постоянный рост резцов грызунов — очень важная особенность, но лишь при питании твердой пищей. Если крысу держать на мягкой пище, резцы ее, не изнашиваясь, вырастают до таких размеров, что мешают есть, и зверек может погибнуть от голода.

Таким образом, любая структура и любая функция являются приспособлением к внешней среде. Эволюционные изменения — образование новых популяций и видов, возникновение или исчезновение органов, усложнение организации — обусловлены развитием приспособлений (адаптаций). Целесообразность живой природы — результат исторического развития видов в определенных условиях, поэтому она всегда относительна и имеет временный характер.



Вопросы для повторения и задания

1. Что такое физиологическая адаптация? Как она возникает и что лежит в ее основе?
2. Приведите примеры функциональных приспособительных изменений у животных.
3. Каким образом обитатели пустыни приспособляются к отсутствию воды?
4. Особь или популяция является единицей приспособления?
5. Каков биологический механизм развития приспособлений у животных организмов?



Подумайте

Приведите примеры физиологических адаптаций у человека.



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

5

Микроэволюция

Микроэволюцией ученые-биологи называют процесс видообразования, т. е. появления новых видов живых организмов.

10. Вид, его критерии и структура

Вспомните!

- Уровни организации живой материи
- Дискретность
- Репродукция
- Гибрид

В основе теории Ч. Дарвина лежит представление о виде. Что же такое вид и насколько реально его существование в природе?

Видом называют совокупность особей, сходных по строению, имеющих общее происхождение, свободно скрещивающихся между собой и дающих плодовитое потомство. Все особи одного вида имеют одинаковый хромосомный набор — кариотип (см. с. 134), сходное поведение и занимают определенную область распространения.

Одна из важных характеристик вида — его *репродуктивная изоляция*, т. е. существование механизмов, препятствующих скрещиванию разных видов. Это достигается разными путями.

У близких видов могут не совпадать сроки или предпочитаемые места размножения. Например, самки одного вида лягушек мечут икру по берегам рек, другого вида — в лужах. При этом случайное осеменение икры самцами другого вида исключается. У многих видов животных существует строгий ритуал поведения при спаривании. Если у одного из партнеров поведение отклоняется от видового, спаривания не происходит. Если все же спаривание произойдет, сперматозоиды чужого вида не смогут проникнуть в яйцеклетку. Изоляции способствуют также предпочтения в пище: особи кормятся в разных биотопах, и вероятность скрещивания между ними уменьшается.

Иногда при межвидовом скрещивании оплодотворение все же происходит. В этом случае образовавшиеся гибриды либо отличаются пониженной жизнеспособностью, либо оказывают-

ся бесплодными и не дают потомства. Известный пример — мул, гибрид лошади и осла. Будучи вполне жизнеспособным, мул бесплоден из-за нарушений процесса образования половых клеток.

Перечисленные механизмы, предотвращающие обмен генами между видами, имеют неодинаковую эффективность, но в комплексе в природных условиях они создают непроницаемую генетическую изоляцию между видами. Следовательно, вид — реально существующая единица органического мира.

Каждый вид занимает более или менее обширный *ареал* (от лат. *area* — область, пространство). Иногда он сравнительно невелик: для видов, обитающих в Байкале, он ограничивается этим озером. В других случаях ареал вида охватывает огромные территории. Так, черная ворона распространена в Западной Европе почти повсеместно.

Существование определенных границ распространения вида означает, что все особи свободно перемещаются внутри ареала. Степень подвижности особей выражается расстоянием, на которое может перемещаться животное, т. е. радиусом его индивидуальной активности. У растений этот радиус определяется расстоянием, на которое распространяются пыльца, семена или вегетативные части, способные дать начало новому растению. Для виноградной улитки радиус активности составляет несколько десятков метров, для северного оленя — более ста километров, для ондатры — несколько сотен метров. Вследствие ограниченности радиусов активности лесные полевки, обитающие в одном лесу, имеют не много шансов встретиться в период размножения с лесными полевыми, населяющими соседний лес. Травяные лягушки, мечущие икру в одном озере, изолированы от лягушек другого озера, расположенного в нескольких километрах от первого. (В обоих случаях изоляция неполная, поскольку отдельные полевки и лягушки могут мигрировать из одного места обитания в другое.)

Особь любого вида распределены внутри видового ареала неравномерно. Участки территории с относительно высокой плотностью населения чередуются с участками, где численность вида низкая или особи данного вида совсем отсутствуют. Поэтому вид представляет собой совокупность отдельных групп организмов — популяций.

Популяция — это совокупность особей данного вида, занимающих определенный участок территории внутри ареала вида, свободно скрещивающихся между собой и частично или полностью изолированных от других популяций. Реально вид существует в виде популяций.



Вопросы для повторения и задания

1. Дайте определение вида.
2. Какие биологические механизмы препятствуют скрещиванию разных видов?
3. В чем причина бесплодия межвидовых гибридов?
4. Что такое ареал вида?
5. Что такое радиус индивидуальной активности организмов?
6. Что такое популяция? Дайте определение.



Подумайте

Чем определяются границы ареала обитания видов?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

11. Эволюционная роль мутаций

Вспомните!

• ДНК • Хромосома • Мутации • Гамета

Благодаря изучению генетических процессов в популяциях живых организмов эволюционная теория получила дальнейшее развитие. Большой вклад в популяционную генетику внес русский ученый С. С. Четвериков. Он занимался изучением природных мутаций, изменений наследственных свойств организма.

Единица наследственности — ген. *Ген — это участок молекулы ДНК, содержащий наследственную информацию.* Под действием различных факторов гены способны изменяться. Эти изменения (мутации) являются источником наследственной изменчивости. В ходе полового размножения мутации могут широко распространяться в популяциях. Большинство организмов *гетерозиготны* по многим генам, т. е. в его клетках парные хромосомы несут разные формы одного и того же гена. Дело в том, что в подавляющем большинстве случаев гетерозиготные организмы лучше приспособлены к среде, чем *гомозиготные*, т. е. не-

сущие в парных хромосомах одинаковые формы того или иного гена.

Например, гусеницы бабочки березовая пяденица, гомозиготные по доминантному гену, определяющему темную окраску их крыльев, плохо усваивают листья берез, покрытые гарью и копотью, а гетерозиготные гусеницы растут на этом корме гораздо лучше. Следовательно, большая биохимическая гибкость гетерозиготных организмов приводит к их лучшему выживанию, и отбор действует в пользу гетерозигот.

Для понимания эволюционных преобразований важно помнить, что мутации, вредные в одних условиях, могут повышать жизнеспособность в других условиях среды. Мутация, обуславливающая недоразвитие или полное отсутствие крыльев у насекомых, безусловно, вредна в обычных условиях, и бескрылые особи быстро вытесняются нормальными. Но на океанических островах и горных перевалах, где дуют сильные ветры, такие насекомые имеют преимущество перед особями с нормально развитыми крыльями.

Мутационный процесс — источник резерва наследственной изменчивости популяций. Поддерживая высокую степень генетического разнообразия популяций, он создает основу для действия естественного отбора.

В разных популяциях одного вида частота мутантных генов неодинакова. Практически нет двух популяций с совершенно одинаковой частотой встречаемости мутантных признаков. Эти различия могут быть обусловлены тем, что популяции обитают в неодинаковых условиях внешней среды. Направленное изменение частоты генов в популяциях обусловлено действием естественного отбора. Но и близко расположенные, соседние популяции могут отличаться друг от друга столь же значительно, как и далеко расположенные. Это объясняется тем, что в популяциях ряд процессов приводит к *ненаправленному, случайному* изменению частоты генов, или, другими словами, их генетической структуры.

Например, при миграции животных или растений на новом месте обитания поселяется незначительная часть исходной популяции. *Генофонд* вновь образованной популяции, т. е. совокупность всех ее генов, неизбежно меньше генофонда родительской популяции, и частота генов в ней будет значительно отличаться от исходной.

Гены, до того редко встречающиеся, вследствие полового размножения быстро распространяются среди членов новой популяции. В то же время широко распространенные в исходной попу-

ляции гены могут отсутствовать, если их не было в генотипе основателей новой популяции.

Природные катастрофы — лесные или степные пожары, наводнения и т. п. — вызывают массовую неизбирательную гибель организмов, особенно малоподвижных форм (растения, моллюски, рептилии, земноводные и др.). Особи, избежавшие гибели, остаются в живых благодаря чистой случайности. В популяции, пережившей катастрофическое снижение численности, частоты генов будут иными, чем в исходной популяции. Вслед за спадом численности в оставшейся немногочисленной группе начинается массовое размножение. Генетический состав этой группы определит структуру всей популяции в период ее расцвета. При этом некоторые мутации могут совсем исчезнуть, а концентрация других — резко повыситься.

В природе наблюдаются и *периодические* колебания численности популяций, связанные со взаимоотношениями типа «хищник — жертва» (рис. 35). Усиленное размножение «жертв» за счет увеличения их кормовых ресурсов приводит, в свою очередь, к усиленному размножению хищников. Увеличение же численности хищников вызывает массовое уничтожение их жертв. Недостаток корма обуславливает сокращение числа хищников и восстановление размеров популяций жертв. Эти колебания численности («волны численности»), а также сезонные колебания изменяют частоту генов в популяциях, в чем и состоит их эволюционное значение.

К изменениям частоты генов в популяциях приводит также ограничение обмена генами между ними вследствие *пространст-*

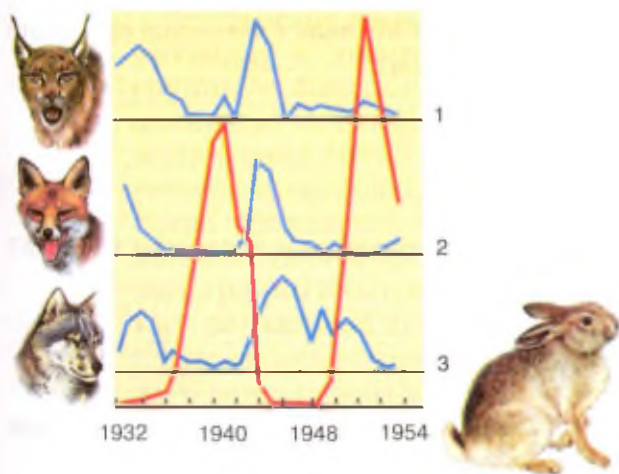


Рис. 35. Колебания численности хищников и их жертв: 1 — рысь, 2 — лисица, 3 — волк. Динамика численности зайцев показана красной линией

венной (географической) изоляции. Реки служат преградой для сухопутных видов, горы изолируют равнинные популяции. Каждая из изолированных популяций обладает специфическими особенностями, связанными с условиями жизни. Важное следствие изоляции — близкородственное скрещивание, благодаря которому *рецессивные* гены (т. е. не проявляющиеся внешне у гетерозиготной особи — см. с. 177), распространяясь в популяции, проявляются в гомозиготном состоянии, что снижает жизнеспособность организмов. В человеческих популяциях изоляты с высоким уровнем близкородственных браков встречаются в горных районах, на островах. Существует еще изоляция отдельных групп населения по кастовым, религиозным, расовым и другим причинам.

Эволюционное значение различных форм изоляции состоит в том, что она закрепляет и усиливает генетические различия между популяциями, а также в том, что разделенные части популяции или вида подвергаются неодинаковому давлению отбора.

Таким образом, изменения частоты встречаемости генов, вызванные факторами внешней среды, служат основой возникновения различий между популяциями и в дальнейшем обуславливают преобразование их в новые виды. Поэтому изменения популяций в ходе естественного отбора, ведущие к видообразованию, называют *микроэволюцией*.



Вопросы для повторения и задания

1. Какую роль играют мутации в процессе эволюции?
2. Какие процессы приводят к изменению частоты встречаемости генов в популяциях?
3. Почему разные популяции одного и того же вида отличаются по частоте встречаемости различных вариантов генов?
4. Что такое микроэволюция?



Подумайте

В чем проявляется относительность полезности и вредности мутаций? Приведите примеры.



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

Биологические последствия адаптации. Макроэволюция

Приобретение популяциями и видами разнообразных приспособлений способствует не только выживанию их в какой-то определенной среде. Новые признаки и свойства могут стать причиной освоения популяцией новых мест обитания, новых источников питания и т. д. В этом случае конкуренция с родственными организмами резко ослаблена или отсутствует. Это приводит к вспышке размножения и широкому расселению вида, что, в свою очередь, способствует формированию многочисленных популяций, которые оказываются в различных условиях и подвергаются неодинаково направленному действию отбора.

Показатель хорошей приспособленности группы организмов — ее высокая численность, широкий ареал и большое количество подчиненных систематических групп. Систематическая группа (вид, род, семейство и т. д.) находится в состоянии процветания, или биологического прогресса, если в нее входит значительное число систематических групп более низкого ранга. Например, внутри отряда всегда есть многочисленные семейства, включающие, в свою очередь, большое число родов, которые также богаты входящими в них видами. Таким образом, *биологический прогресс* представляет собой результат успеха в борьбе за существование.

Отсутствие необходимого уровня приспособленности приводит к угнетенному состоянию таксономической группы — *биологическому регрессу* — уменьшению численности, сокращению ареала, снижению числа систематических групп более низкого ранга. Биологический регресс чреват опасностью вымирания. Например, вследствие усиленного отстрела резко сократилась численность и сузился ареал распространения соболя. На грани вымирания находятся уссурийский тигр, гренландский кит, барханный кот и другие животные.

Эволюция крупных систематических групп (надвидового ранга) носит название *макроэволюции*. В результате макроэволюции возникают новые типы, классы и, как полагают ученые, некоторые отряды.

12. Главные направления эволюции

Вспомните!

- Жизненные формы растений и животных • Хищники
- Паразиты • Прикрепленные к субстрату • Прыгающие
- Бегающие • Роющие • Плавающие • Лазящие

Ч. Дарвин считал, что естественный отбор не всегда ведет к повышению организации. Адаптивные изменения, благоприятные для выживания популяции, могут быть направлены на специализацию (приобретение узких приспособлений при освоении новых мест обитания или источников питания), в результате чего группа организмов устраняется от конкуренции. Приобретение специальных приспособлений к ограниченным условиям среды не меняет уровня организации, но способствует процветанию вида. Иногда оказывается выгодным переход к сидячему образу жизни, пассивному питанию или паразитизму. Такая адаптация, как правило, ведет к упрощению организации, утрате ряда органов.

Выделяют три главных направления эволюции, каждое из которых ведет к биологическому прогрессу: 1) ароморфоз (морфофизиологический прогресс), 2) идиоадаптация, 3) общая дегенерация.

Ароморфоз (от греч. *айро* — поднимаю, *морфа* — образец, форма) означает усложнение структурно-функциональной организации, поднятие ее на более высокий уровень. Изменения в строении животных в результате ароморфоза не являются приспособлениями к каким-либо специальным условиям среды, они носят общий характер и позволяют шире использовать условия внешней среды (новые источники пищи, новые места обитания).

Ароморфозы обеспечивают переход от пассивного питания к активному (появление челюстей у позвоночных), повышают подвижность животных (появление скелета как места прикрепления мышц и замена пластов гладкой мускулатуры у червей на пучки поперечно-полосатой у членистоногих), дыхательную функцию (возникновение жабр и легких), снабжение тканей кислородом (появление сердца у рыб и разделение артериального и венозного кровотока у птиц и млекопитающих). Все эти изменения, не будучи частными приспособлениями к конкретным

условиям среды, повышают интенсивность жизнедеятельности животных, уменьшают их зависимость от условий существования.

Все ароморфозы сохраняются в ходе дальнейшей эволюции и приводят к возникновению новых крупных систематических групп — классов, типов, некоторых отрядов (у млекопитающих).

Идиоадаптация (от греч. *идиос* — особенность, *адаптация* — приспособление) — приспособление к специальным условиям среды, полезное в борьбе за существование, но не изменяющее уровня организации животных или растений. Поскольку каждый вид организмов живет в определенных местообитаниях, у него вырабатываются приспособления именно к этим условиям. К разным видам идиоадаптаций относятся покровительственная окраска животных, колючки растений, плоская форма тела скатов и камбалы. В зависимости от условий обитания и образа жизни многочисленным преобразованиям подвергается пятипалая конечность млекопитающих. На рисунке 36 рассмотрите, как разнообразны формы конечностей у представителей отрядов грызунов и зайцеобразных. Точно так же различия внешнего вида и деталей строения животных, относящихся к отрядам парнокопытных и мозолоногих (рис. 37), вызваны неодинаковыми условиями их существования.

После возникновения ароморфозов и особенно при выходе группы животных в новую среду обитания начинается приспособление отдельных популяций к условиям существования именно путем идиоадаптаций. Так, класс птиц в процессе расселения по суше дал громадное разнообразие форм. Рассматривая строение колибри, воробьев, канареек, орлов, чаек, попугаев, пеликанов, пингвинов и т. д., можно прийти к выводу, что все различия между ними сводятся к частным приспособлениям, хотя основные черты строения у всех птиц одинаковы (рис. 38, 39).

Крайняя степень приспособления к ограниченным условиям существования носит название *специализации*. Питание только одним видом пищи, обитание в однородной и постоянной среде приводят к тому, что вне этих условий организмы жить не могут. Таковы колибри, питающиеся только нектаром цветков тропических растений, муравьеды, специализирующиеся на питании исключительно муравьями, хамелеоны, приспособленные к обитанию на тонких ветвях деревьев.



Рис. 36. Виды грызунов (3—8) и зайцеобразных (1, 2)

Общая дегенерация. Биологическое процветание достигается и упрощением организации. Упрощение организации — *морфофизиологический регресс* — ведет к исчезновению органов активной жизни и носит название общей дегенерации. Общая дегенерация как путь биологического прогресса наблюдается у многих форм и связана главным образом с переходом к паразитическому



Вилорогая антилопа (1)

Пятнистый олень (2)

Жирафа (3)

Окапи (4)

Кабарга (5)

Сибирский горный козел (6)

Двугорбый верблюд (7)

Рис. 37. Виды парнокопытных (1—6) и мозоленогих (7)

или сидячему образу жизни. Виды, перешедшие к паразитизму, резко отличаются от свободноживущих видов. У растений-паразитов атрофируются корни, листья, нередко утрачивается способность к фотосинтезу, и такое растение целиком существует за счет хозяина. У животных, например плоских червей, редуциру-

Рис. 38. Характерная форма клюва у клеста-сосновика, питающегося семенами сосны, резко отличается от клювов птиц, пищей которых служат насекомые или семена других растений



Рис. 39. Форма клюва у различных видов зябликов зависит от характера пищи



Большой земляной зяблук ест твердые семена



Зяблик-славка ест насекомых



Дятловый древесный зяблик ест насекомых



Большой древесный зяблик ест насекомых и семена



Остроклювый земляной зяблик ест семена, насекомых



Большой кактусовый земляной зяблик ест кактусы

ются органы чувств, упрощается строение нервной системы, пищеварительной системы. Взамен у них развиваются различные частные приспособления — присоски, прицепки, способствующие удержанию в кишечнике хозяина. Наиболее прогрессивного развития у паразитов достигает половая система. Так, самка од-



Рис. 40. Трихинеллы из мышечной ткани

ного из паразитических ракообразных полностью утратила признаки членистоногих и выполняет только одну функцию — образование яиц. Плодовитость паразитов чрезвычайно велика. Бычий цепень, паразитирующий в кишечнике человека, за свою жизнь (18—20 лет) производит около 11 млрд яиц. Круглые черви — аскариды, трихинеллы (рис. 40) также обладают высокой плодовитостью. Защищенность телом хозяина и высокая плодовитость паразитов обеспечивают им широкое распространение и биологическое процветание.

Переход к сидячему образу жизни и пассивному питанию (например, асцидия — см. рис. 92) сопровождается упрощением организации и устранением от конкуренции с другими видами, что также ведет к сохранению вида.

? Вопросы для повторения и задания

1. Что такое биологический прогресс и биологический регресс?
2. Назовите основные направления эволюции организмов.
3. Приведите примеры ароморфозов.
4. Приведите примеры идиоадаптаций.
5. Как изменяется строение организмов при переходе к паразитизму?
6. Какой биологический механизм обеспечивает движение групп организмов в том или ином эволюционном направлении?

! Подумайте

Можно ли утверждать, что эволюция может носить как прогрессивный, так и регрессивный характер? Ответ обоснуйте.

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

13. Общие закономерности биологической эволюции

Вспомните!

- Видоизменения листьев • Видоизменения побегов
- Роющие животные • Прыгающие животные
- Ползающие животные

Дивергенция. Появление новых форм всегда связано с приспособлением к местным географическим и экологическим условиям существования. Так, класс млекопитающих состоит из многочисленных отрядов, представители которых отличаются родом пищи, особенностями мест обитания, т. е. условиями существования (насекомоядные, рукокрылые, хищные, парнокопытные, китообразные и т. д.). Каждый из этих отрядов включает подотряды и семейства, которые, в свою очередь, характеризуются не только специфическими морфологическими признаками, но и экологическими особенностями (формы бегающие, скачущие, лазающие, роющие, плавающие). Внутри любого семейства виды и роды различаются образом жизни, объектами питания и т. п.

Как указывал Дарвин, в основе всего эволюционного процесса лежит *дивергенция* (от лат. *диверго* — отклоняюсь, отхожу). Это процесс расхождения признаков организмов, возникающих от общего предка, в ходе их приспособления к разным условиям обитания. Дивергировать могут не только виды, но и роды, семейства, отряды.

Листья у растений в зависимости от условий могут превращаться в усики (у гороха), в иглы (у барбариса), в колючки (у кактуса), однако все это — видоизмененные листья. Корневище лан-



Рис. 41. Хамелеон (слева) и лазающая агама (справа)

дыша, клубни картофеля, донце репчатого лука, внешне такие различные, представляют собой подземные побеги.

Конвергенция. В одинаковых условиях существования животные, относящиеся к разным, часто далеким, систематическим группам, могут приобретать сходное строение. Такое сходство строения возникает при сходстве функций и ограничивается только органами, непосредственно связанными с одними и теми же факторами среды. Это явление называется *конвергенцией* (от лат. *конверго* — приближаюсь, схожусь).

При этом исторически сложившаяся организация в целом никогда не подвергается конвергенции. Внешне очень похожи хамелеоны и лазающие агамы, обитающие на ветвях деревьев, хотя они и относятся к разным подотрядам (рис. 41). Конвергентное сходство обнаруживают конечности разных животных, ведущих роющий образ жизни (рис. 42). Одинаковый образ жизни сумчатых и плацентарных млекопитающих привел их независимо друг от друга к подобию многих черт строения. Сходны европейский крот и сумчатый крот, сумчатый летун и белка-летяга, сумчатый волк напоминает «настоящего» волка. Ярким примером возникновения сходных структур у неродственных групп организмов служит строение глаза осьминога и человека (рис. 43).

У организмов, способных к полету, имеются крылья и другие приспособления (рис. 44). Но крылья птицы и летучей мыши —



Рис. 42. Конвергентное сходство конечностей у насекомого (медведка, слева) и млекопитающего (крот, справа), ведущих роющий образ жизни

измененные передние конечности, а крылья бабочки — выросты стенки тела.

При освоении суши у неродственных групп животных, членистоногих и позвоночных, развивается приспособление к сохранению воды в теле — плотные покровы с водонепроницаемым наружным слоем. Для большинства водных животных характерно выведение продуктов азотного обмена в виде аммиака с большим количеством воды. У наземных животных азот выделяется в виде мочевой кислоты, что позволяет максимально сокращать расход воды. Таким образом, в процессе эволюции физиологическое совершенствование неродственных организмов осуществляется сходными путями на базе структур разного происхождения.

Необратимость эволюции. К общим правилам эволюции группы живых организмов относится правило необратимости эволюционных преобразований. Так, если на каком-то этапе от примитивных амфибий возникли рептилии, то при дальнейшей эволюции рептилии не могут дать вновь начало амфибиям, а земноводные, в свою очередь, не превратятся со временем в рыб. Вернувшиеся в воду наземные позвоночные (среди рептилий — ихтиозавры, среди млекопитающих — китообразные и ластоногие) не стали рыбами. Предыдущая история развития для любой группы организмов не проходит бесследно, и приспособление к среде, в которой когда-то обитали предки, осуществляется уже на иной генетической основе.

Рис. 43. Строение глаза осьминога (А) и человека (Б):

1 — зрительный нерв,
 2 — сетчатая оболочка,
 3 — стекловидное тело,
 4 — хрусталик, 5 — радужная оболочка, 6 — передняя камера глаза, 7 — роговица

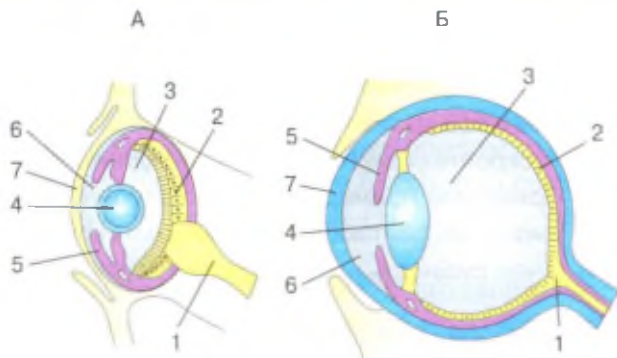


Рис. 44. Приспособления для планирующего полета у млекопитающих, рептилий и амфибий.
 На фото: ящерица (вверху) и белки-летяги (внизу)





Вопросы для повторения и задания

1. Чем определяется расхождение признаков у родственных групп организмов и возникновение внешнего сходства у неродственных?
2. Раскройте содержание понятий «дивергенция» и «конвергенция».
3. Приведите примеры сходства строения органов у неродственных групп животных, обитающих в одинаковых условиях.
4. В чем сущность необратимости эволюции?



Подумайте

Докажите, что дивергентное или конвергентное развитие групп живых организмов носит приспособительный характер. Приведите примеры.



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

Глава

7

Возникновение жизни на Земле

Для того чтобы правильно представить процесс возникновения жизни, необходимо кратко рассмотреть современные взгляды на образование Солнечной системы и положение Земли среди ее планет. Эти представления очень важны, так как, несмотря на общность происхождения планет, окружающих Солнце, только на Земле появилась и достигла исключительного разнообразия жизнь.

14. Современные представления о возникновении жизни

Вспомните!

- Земная кора • Ядро Земли • Мантия • Атмосфера • Гидросфера
- Литосфера • Биологические полимеры • Обмен веществ

Земля и другие планеты Солнечной системы образовались из газо-пылевого облака около 4,5 млрд лет тому назад.

На первых этапах формирования Земли температура была очень высока. По мере остывания планеты тяжелые соединения перемещались к ее центру, а более легкие соединения (H_2 , CO_2 , CH_4 и др.) оставались на поверхности. Металлы и другие способные к окислению элементы соединялись с кислородом, поэтому в атмосфере Земли свободного кислорода не было, она состояла из свободного водорода и его соединений (H_2O , CH_4 , NH_3 , HCN).

Компоненты газовой оболочки нашей планеты подвергались воздействию различных источников энергии: жесткого, близкого к рентгеновскому, ультрафиолетового излучения Солнца, высокой температуры в области грозных разрядов и в районах активной вулканической деятельности и т. д. В результате простейшие компоненты атмосферы вступали во взаимодействие, многократно изменяясь и усложняясь. Возникали молекулы сахаров, аминокислот, азотистые основания, органические кислоты и другие органические соединения. (Возможность небиологического синтеза органических соединений доказывается тем, что они обнаружены в космическом пространстве.)

По мере остывания планеты водяные пары, находившиеся в ее атмосфере, также остывали, конденсировались и обрушивались на поверхность Земли ливнями. Образовывались огромные водные пространства. Поскольку Земля была еще достаточно горячей, вода испарялась, а затем, охлаждаясь в верхних слоях атмосферы, вновь выпадала на поверхность планеты в виде дождей. Это продолжалось в течение многих миллионов лет. В водах первичного океана были растворены компоненты атмосферы, различные соли, вымываемые водой из горных пород; сформировался «первичный бульон». Кроме того, туда постоянно попадали и непрерывно образующиеся в атмосфере простейшие органические соединения — те самые, из которых возникали более сложные молекулы. В водной среде они объединялись, в результате чего появились первичные органические полимеры — полипептиды и полинуклеотиды.

Следовательно, образование разнообразных органических соединений из неорганических веществ в тех условиях было закономерным процессом химической эволюции.

Итак, первичный океан, по-видимому, содержал в растворенном виде различные органические и неорганические молекулы, попадающие в него из атмосферы и вымываемые из поверхностных слоев Земли. Концентрация органических соединений по-

стоянно увеличивалась, и в конце концов вода океана стала «бульоном» из отдельных аминокислот, белковоподобных веществ — пептидов, а также нуклеиновых кислот и других органических соединений.

Молекулы различных веществ объединялись, образовывали многомолекулярные комплексы — *коацерваты*, чье содержимое было отделено от основного раствора. В дальнейшем они приобрели способность поглощать из окружающей среды те вещества, которые обеспечивали их устойчивость, а также выделять наружу некоторые продукты происходящих в них химических превращений. Это уже напоминало простейший обмен веществ между средой и коацерватной каплей.

Дальнейшее усложнение обмена веществ у предбиологических структур могло происходить только в условиях пространственного разделения внутри коацервата различных процессов синтеза и распада, а кроме того, при более надежной изоляции внутренней среды от внешних воздействий по сравнению с той, которую могла обеспечить водная оболочка. Такую изоляцию могла осуществить лишь мембрана. Вокруг коацерватов, богатых органическими соединениями, возникли слои жиров, или липидов, отделившие их от окружающей водной среды и преобразовавшиеся в ходе дальнейшей эволюции в наружную мембрану.

Появление биологической мембраны, отделяющей содержимое коацервата от окружающей среды и обладающей способностью к избирательной проницаемости, предопределило направление дальнейшей химической эволюции по пути развития все более совершенных саморегулирующихся систем, вплоть до возникновения первых примитивно устроенных клеток.

Появление первых клеточных организмов положило начало биологической эволюции.

Эволюция структур, предшествовавших биологическим, таких, как коацерваты, началась очень рано — около 4 млрд 250 млн лет назад и протекала в течение длительного времени: понадобилось около миллиарда лет, чтобы из них возникли первые простейшие клеточные организмы. Их удалось обнаружить в породах, возраст которых составляет около 3 млрд лет.



Вопросы для повторения и задания

1. Какие химические элементы и их соединения были в первичной атмосфере Земли?

2. Укажите условия, необходимые для абиогенного образования органических соединений.
3. Какие соединения были растворены в водах первичного океана?
4. Что такое коацерваты?
5. В чем сущность химической эволюции на ранних этапах существования Земли?
6. Какое событие положило начало биологической эволюции?
7. Когда на Земле появились первые клеточные организмы?

Подумайте

Почему формирование липидной мембраны вокруг коацерватов предопределило дальнейшее возникновение клетки?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

15. Начальные этапы развития жизни

Вспомните!

- Бактерии • Синезеленые водоросли • Кислород
- Диоксид углерода • Озон

У первых одноклеточных организмов — *прокариот* — наследственный материал не был окружен мембраной, а находился прямо в цитоплазме. Они были *гетеротрофами*, т. е. использовали в качестве источника энергии (пищи) органические соединения, растворенные в водах первичного океана. Поскольку в атмосфере Земли свободного кислорода не было, они имели *анаэробный* (бескислородный) тип обмена, эффективность которого невелика.

Появление большого количества гетеротрофов приводило к истощению вод первичного океана: в нем оставалось все меньше готовых органических веществ. По этой причине преимущество получили организмы, приобретшие способность использовать для синтеза органических веществ из неорганических энергию

света. Так возник *фотосинтез*. Это привело к появлению принципиально нового источника питания. Существующие ныне анаэробные серные пурпурные бактерии на свету окисляют сероводород до сульфатов. Высвобождающийся в результате реакции водород используется для восстановления диоксида углерода до углеводов. Первые организмы могли синтезировать необходимые для своего существования органические вещества таким же способом. Так появились *автотрофы*. Однако кислород в процессе такого фотосинтеза не выделяется. Долгое время фотосинтезирующие бактерии существовали в бескислородной среде.

Следующим шагом эволюции было приобретение фотосинтезирующими организмами способности в качестве источника водорода использовать воду. Автотрофное усвоение CO_2 такими организмами сопровождалось выделением O_2 . С тех пор в атмосфере Земли постепенно накапливался кислород. По геологическим данным, свободный кислород в небольшом количестве имелся в атмосфере Земли уже 2,7 млрд лет назад. Первыми фотосинтезирующими организмами, выделяющими в атмосферу O_2 , были синезеленые водоросли.

Переход от первичной восстановительной атмосферы к среде, содержащей кислород, представляет собой важнейшее событие как в эволюции живых существ, так и в преобразовании минералов. Во-первых, кислород, выделяющийся в атмосферу, в верхних ее слоях под действием мощного ультрафиолетового излучения Солнца превращается в активный озон (O_3), который способен поглощать большую часть жестких коротковолновых ультрафиолетовых лучей, разрушительно действующих на сложные органические соединения. Во-вторых, в присутствии свободного кислорода возможно появление энергетически более выгодного кислородного типа обмена веществ, — возникают *аэробные* бактерии. Таким образом, два фактора, обусловленных образованием на Земле свободного кислорода, вызвали к жизни многочисленные новые формы живых организмов, более широко использующих окружающую среду.

Со временем в результате взаимополезного сосуществования (*симбиоза*) различных прокариот возникли эукариоты, обладающие различными органоидами (рис. 45). Эукариоты имеют диплоидный, или двойной, набор всех наследственных задатков — генов, т. е. каждый из генов представлен в двух вариантах. Появление такого двойного набора генов увеличило генетическое

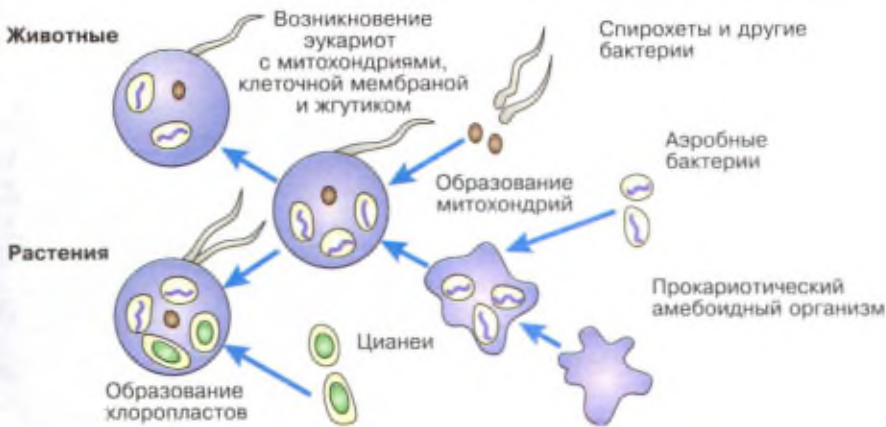


Рис. 45. Схема симбиотического возникновения эукариот

разнообразие потомков, образующихся в результате полового размножения.

На рубеже архейской и протерозойской эр половой процесс привел к значительному увеличению разнообразия живых организмов благодаря созданию новых многочисленных комбинаций генов. Одноклеточные организмы быстро размножились на планете. Но уже около 2,6 млрд лет тому назад появились многоклеточные организмы. В основе современных представлений об их возникновении лежит гипотеза И. И. Мечникова (1845—1916) о происхождении многоклеточных от колониальных простейших — жгутиковых. Пример такой организации — ныне существующие колониальные жгутиковые типа вольвокса (рис. 46). Колония состоит из разных клеток: движущих, снабженных жгутиками; питающих, захватывающих добычу и втягивающих ее внутрь колонии; половых, функцией которых является размножение. Способом питания таких колоний был фагоцитоз. Клетки, захватившие добычу, перемещались внутрь колонии. В ходе эволюции, согласно гипотезе Мечникова, из них образовывалась ткань — *энтодерма*, выполняющая пищеварительную функцию. Клетки, оставшиеся снаружи, выполняли три функции: восприятия внешних раздражений, защиты и движения. Из подобных клеток развивалась покровная ткань — *эктодерма*. Специализирующиеся на выполнении функции размножения клетки стали половыми. Так колония превратилась в примитивный, но целостный многоклеточный организм. В соответствии с другой гипотезой, предложенной Э. Геккелем, дифференциров-

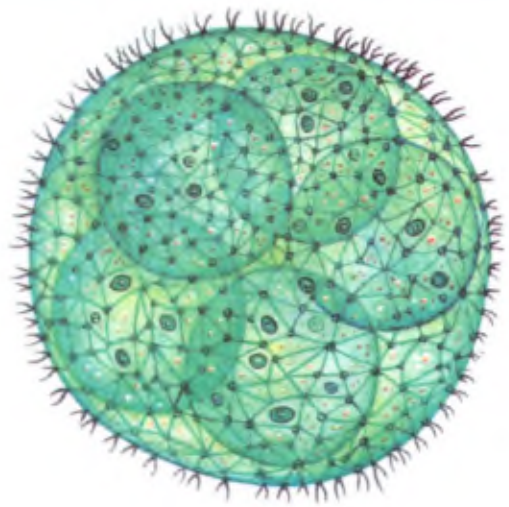


Рис. 46. Вольвокс. Колонии образуются различными способами. Одни — в результате деления отдельных клеток, которые не удаляются друг от друга. Другие — в результате незавершенного деления клеток, когда особи остаются связанными друг с другом

ка функций клеток колонии на пищеварительную и покровную произошла в результате впячивания группы клеток внутрь колонии (рис. 47).

Дальнейшая эволюция многоклеточных организмов животных и растений привела к появлению многообразных форм живого.

Таким образом, возникновению жизни на Земле предшествовал длительный процесс химической эволюции. Формирование мембраны — структуры, отграничивающей организм от окружающей среды, с присущими ей свойствами способствовало появлению живых организмов и ознаменовало начало биологической эволюции. Как простейшие живые организмы, возникшие около 3 млрд лет назад, так и более сложно устроенные в основе

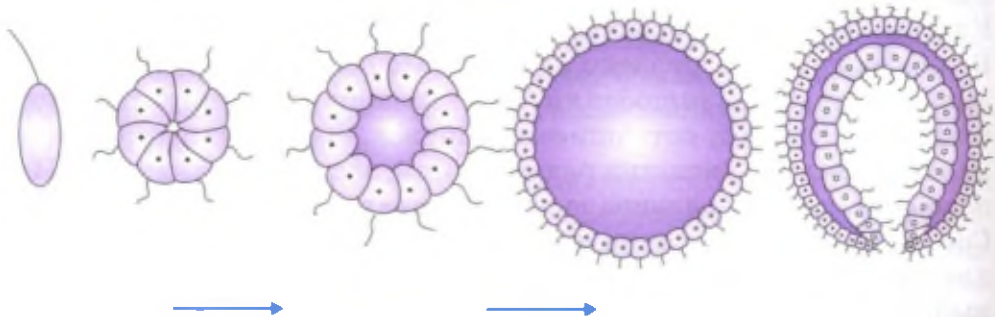


Рис. 47. Схема образования многоклеточного организма

своей структурной организации имеют клетку. Следовательно, *клетка является единицей строения всех живых организмов вне зависимости от уровня их организации.*

? Вопросы для повторения и задания

1. Как питались первые живые организмы?
2. Что такое фотосинтез? Какую роль в развитии жизни на Земле сыграло его появление?
3. Какие организмы впервые стали выделять в атмосферу свободный кислород?
4. Какое значение для эволюции имело появление полового процесса?

! Подумайте

Как использование воды в процессах фотосинтеза повлияло на биологическую эволюцию?

! Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

Глава

8 Развитие жизни на Земле

В истории Земли принято различать промежутки времени, разделенные крупными геологическими событиями: горообразовательными процессами, поднятием и опусканием суши, изменением очертаний материков, уровня океанов. Движения и разломы земной коры сопровождались усиленной вулканической деятельностью, выбросом в атмосферу громадного количества газов и пепла. Понижение прозрачности атмосферы уменьшало количество солнечной радиации, попадающее на Землю,

и было одной из причин развития оледенений. Не случайно горообразовательные процессы сопровождались оледенениями. Грандиозные ледниковые щиты, покрывавшие поверхность Земли, значительно изменяли климатические условия и тем самым оказывали глубокое влияние на растительный и животный мир. Одни группы организмов вымирали, другие сохранялись и в межледниковые эпохи достигали расцвета.

16. Жизнь в архейскую и протерозойскую эры

Вспомните!

- Гетеротрофы • Фотосинтез • Половое размножение
- Многоклеточность • Почвообразование

В архейскую эру — эру древнейшей жизни, которая началась 3500 млрд лет назад и продолжалась 900 млн лет, возникли первые живые организмы. Они были гетеротрофами и в качестве пищи использовали органические соединения «первичного бульона».

Важнейший этап эволюции жизни на Земле связан с возникновением *фотосинтеза*, что обусловило разделение органического мира на растительный и животный. Первыми фотосинтезирующими организмами были прокариотические синезеленые водоросли — цианеи. Цианеи и появившиеся затем эукариотические зеленые водоросли выделяли в атмосферу из океана свободный кислород, что способствовало возникновению бактерий, способных жить в аэробной среде. По-видимому, в это же время — на границе архейской и протерозойской эр — произошло еще два крупных эволюционных события: появились *половой процесс* и *многоклеточность*.

Половой процесс резко повышает возможность приспособления к условиям среды вследствие создания бесчисленных комбинаций генов и хромосом в последующих поколениях. *Диплоидность* (двойной набор хромосом), возникшая одновременно с оформленным ядром, позволяет сохранять мутации в гетерозиготном состоянии и использовать их как резерв наследственной изменчивости для дальнейших эволюционных преобразований. Кроме того, в гетерозиготном состоянии многие мутации часто

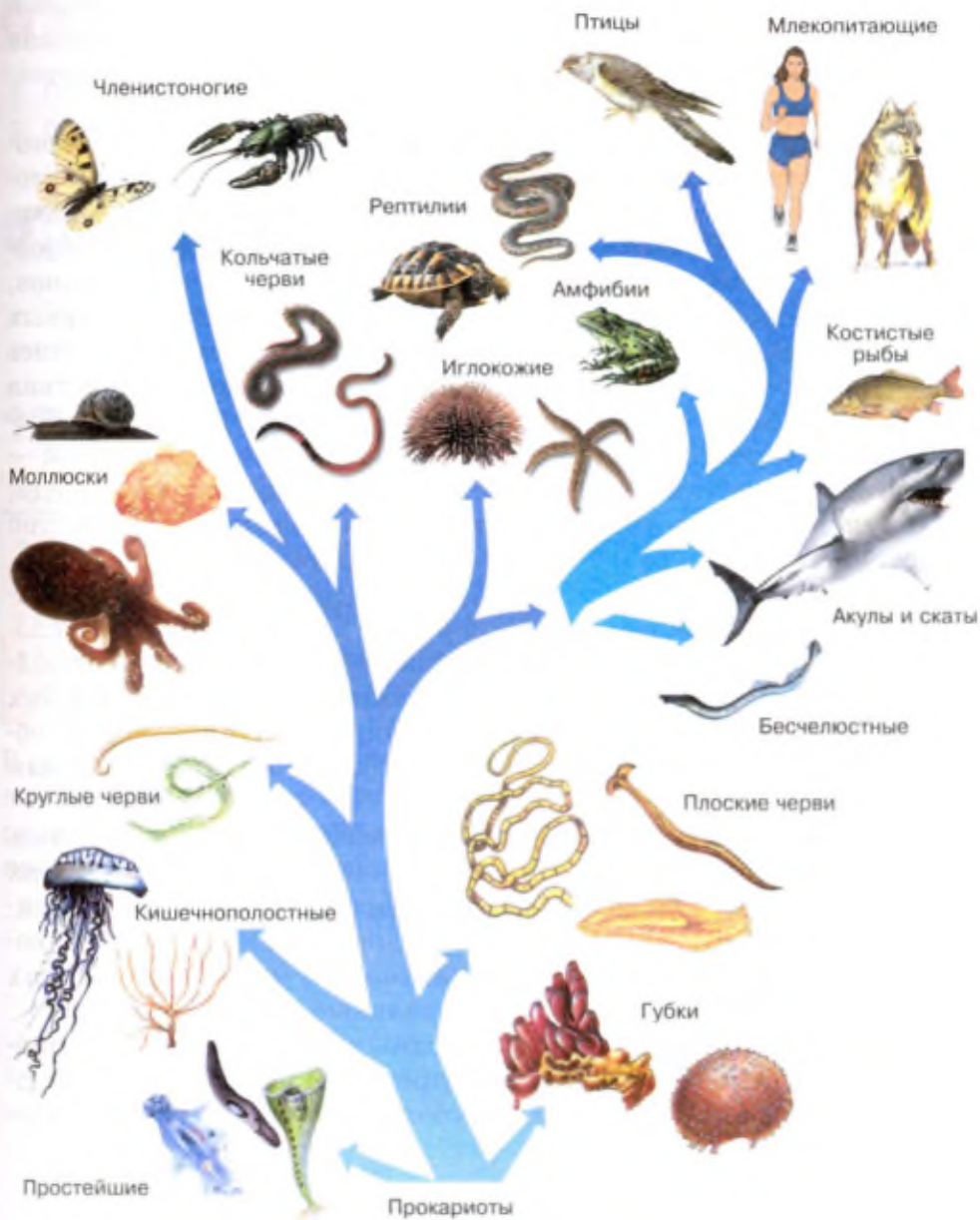


Рис. 48. Филогенетическое древо животного мира, построенное в соответствии с эволюционной теорией

повышают жизнеспособность особей и, следовательно, увеличивают их шансы в борьбе за существование. Возникновение диплоидности и генетического разнообразия одноклеточных эукариот,

с одной стороны, обусловило неоднородность строения клеток и их объединение в колонии, с другой — возможность «разделения труда» между клетками колонии, т. е. образование многоклеточных организмов.

Разделение функций клеток у первых колониальных многоклеточных организмов привело к образованию эктодермы, энтодермы и мезодермы, дифференцированных по структуре в зависимости от выполняемой функции. Дальнейшая дифференцировка создала необыкновенное разнообразие клеточных типов, необходимое для расширения структурных и функциональных возможностей организма в целом, в результате чего создавались все более сложные органы. Совершенствование взаимодействия между клетками — сначала контактного, а затем опосредованного с помощью регуляторных систем — нервной и эндокринной — обеспечило существование многоклеточного организма как единого целого со сложным и тонким взаимодействием его частей и соответствующим реагированием на окружающую среду.

Пути эволюционных преобразований первых многоклеточных были различны. Некоторые перешли к сидячему образу жизни и превратились в организмы типа губок. Другие стали ползать, перемещаться по субстрату с помощью ресничек. От них произошли плоские черви. Третьи сохранили плавающий образ жизни, приобрели рот и дали начало кишечноротовым (рис. 48).

В протерозойскую эру, эру ранней жизни, которая началась 2 млрд 600 млн лет назад и продолжалась 2 млрд лет, в морях уже обитало много разнообразных водорослей, в том числе прикрепленных ко дну. Суша была безжизненной, но по берегам водоемов в результате деятельности бактерий и микроскопических водорослей начались почвообразовательные процессы.

Начальные звенья эволюции животных не сохранились. В протерозойских отложениях находят представителей вполне сформировавшихся типов животных: губок, кишечноротовых, членистоногих.



Вопросы для повторения и задания

1. По какому принципу историю Земли делят на эры и периоды?
2. Когда возникли первые живые организмы?
3. Какие организмы жили в протерозойскую эру?
4. Назовите крупнейшие эволюционные события того периода.

Подумайте

1. Почему образование клетками колоний биологически выгодно?
2. Вследствие какого события произошло разделение живого мира на растительный и животный?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

17. Жизнь в палеозойскую эру

Вспомните!

- Псилофиты • Хвоицы • Плауны • Папоротникообразные
- Голосеменные растения • Семенное размножение
- Ротовой аппарат хватательного типа • Парные плавники
- Членистоногие • Кистеперые рыбы • Двоякодышащие рыбы
- Лучеперые рыбы • Стегоцефалы • Рептилии

В начале палеозойской эры (эры древней жизни) растения населяют в основном моря, но спустя 150—170 млн лет появляются первые наземные растения — *псилофиты* (рис. 49), занимающие промежуточное положение между водорослями и наземными со-

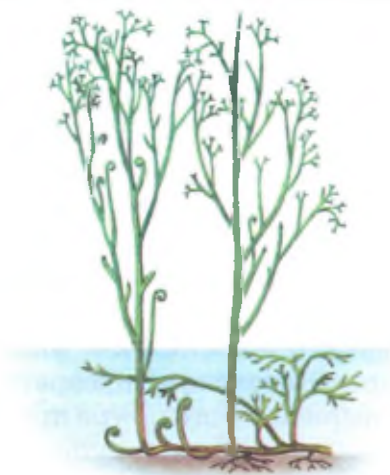


Рис. 49. Первое наземное растение — псилофит. Для этих растений характерна слабая дифференцировка на ткани и органы

судистыми растениями. Псилофиты уже имели слабодифференцированные ткани, способные к проведению воды и органических веществ, и могли укрепляться в почве, хотя настоящие корни (как и настоящие побеги) у них еще отсутствовали. Такие растения могли существовать только во влажном климате, при установлении засушливых условий псилофиты исчезли. Однако они дали начало более приспособленным наземным растениям.

Дальнейшая эволюция растений на суше шла в направлении расчленения тела на вегетативные органы и ткани, совершенствования сосудистой системы (обеспечивающей быстрое передвижение воды на большую высоту). Широко распространяются споровые растения (хвои, плауны, папоротниковидные).

Еще большего развития наземная растительность достигает в *каменноугольном периоде*, характеризующемся влажным и теплым климатом на протяжении всего года. Появляются голосеменные растения, произошедшие от семенных папоротников. Переход к семенному размножению дал растениям много преимуществ: зародыш в семени теперь защищен от неблагоприятных условий оболочками и обеспечен пищей. У части голосеменных (хвойных) процесс полового размножения уже не связан с водой. Опыление у голосеменных осуществляется ветром, а семена снабжены приспособлениями для распространения животными. Все это способствовало расселению семенных растений. Крупные споровые растения вымирают в следующем — *пермском — периоде* (примерно 300—350 млн лет назад) в связи со значительным иссушением и похолоданием климата.

Животный мир в палеозойскую эру развивался чрезвычайно бурно и был представлен большим количеством разнообразных форм. Пышного расцвета достигла жизнь в морях. В самом начале этой эры (570 млн лет назад) уже существовали все основные типы животных, кроме хордовых. Губки, кораллы, иглокожие, моллюски, громадные хищные ракоскорпионы — вот неполный перечень обитателей морей того времени.

В дальнейшем продолжалось совершенствование и специализация основных типов. В геологических отложениях обнаружены остатки животных, имевших внутренний осевой скелет, — бесчелюстных позвоночных, отдаленными потомками которых являются современные миноги и миксины. Их жаберные дуги в ходе дальнейшей эволюции превратились в челюсти, усаженные зубами. Жаберная мускулатура преобразовалась в челюстную и подъязычную. Так, на основе существующих структур, служивших опорой органов дыхания, — возник ротовой аппарат хватательного типа.

Крупный ароморфоз — появление хватательного ротового аппарата — вызвал перестройку всей организации позвоночных. Возможность выбирать пищу способствовала улучшению ориентации в пространстве путем совершенствования органов чувств. Первые челюстноротые не имели плавников и передвигались в воде, змееподобно извиваясь. Однако этот способ передвижения при необходимости поймать движущуюся добычу оказался неэффективным. Поэтому приобрели особое значение кожные складки. В процессе эволюции определенные участки этих складок развивались и дали начало плавникам, парным и непарным. С увеличением размеров складок потребовался скелет для их укрепления. Скелет возник в виде ряда хрящевых (затем костных) лучей. Очень важно, что хрящевые лучи оказались связанными между собой пластинкой, тянущейся под кожей вдоль основания плавников. Она дала начало поясу конечностей (рис. 50). Таким образом, складки превратились в парные грудные и брюшные плавники, средняя часть складки редуцировалась.

Появление парных конечностей — плавников — следующий крупный ароморфоз в эволюции позвоночных.

Итак, челюстноротые позвоночные приобрели хватательный ротовой аппарат и конечности. В своей эволюции они разделились на хрящевых и костных рыб.

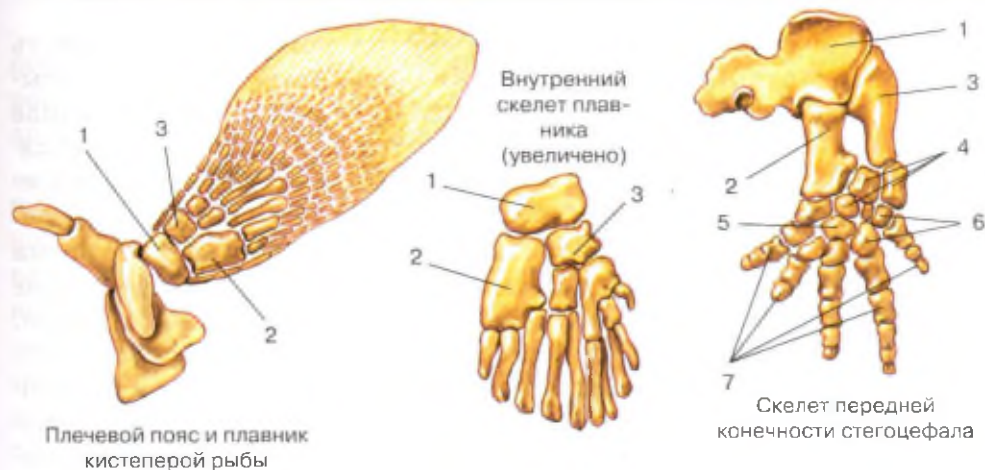


Рис. 50. Скелет парного плавника кистеперой рыбы и передней конечности стегоцефала: 1 — элемент, гомологичный плечевой кости, 2 — элемент, гомологичный лучевой кости, 3 — элемент, гомологичный локтевой кости, 4—6 — кости запястья, 7 — фаланги пальцев

В середине палеозойской эры на сушу вместе с первыми наземными растениями — псилофитами вышли первые дышащие воздухом животные — членистоногие (паукообразные). В водоемах продолжалось бурное развитие низших позвоночных. Предполагается, что позвоночные возникли в мелких пресноводных водоемах и лишь затем переселились в моря.

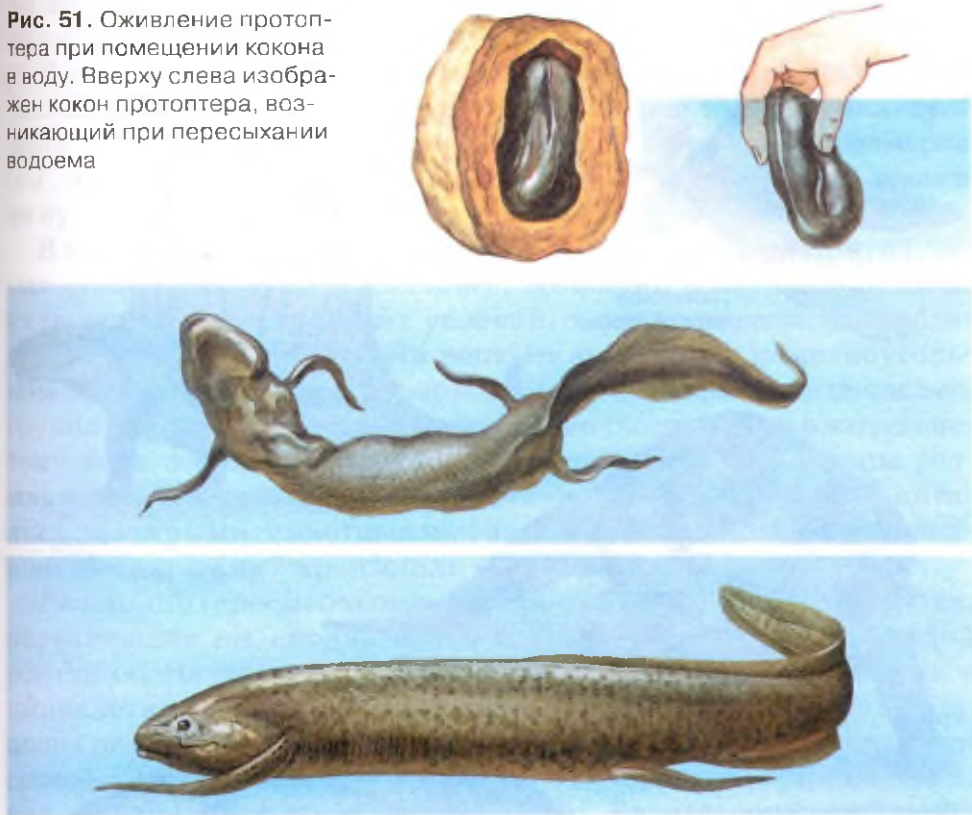
Когда затем на Земле установился засушливый климат, позвоночные были представлены тремя группами: двоякодышащими, лучеперыми и кистеперыми рыбами. В это же время появились насекомые — кормовая база для будущих наземных позвоночных.

Чтобы понять дальнейшую эволюцию рыб, необходимо представить климатические условия в *девонском периоде*. Большая часть суши была безжизненной пустыней. По берегам пресноводных водоемов в густых зарослях растений обитали кольчатые черви, членистоногие. Климат сухой, с резкими колебаниями температуры в течение суток и по сезонам. Уровень воды в реках и водоемах часто менялся. Многие водоемы полностью высыхали, зимой промерзали. Водная растительность при пересыхании водоемов гибла, накапливались растительные остатки. На их разложение расходовался кислород, растворенный в воде. Все это создавало очень неблагоприятную среду для рыб. В этих условиях их могло спасти только дыхание атмосферным воздухом.

Кистеперые рыбы были водными животными, но могли дышать атмосферным воздухом с помощью примитивных легких, представлявших собой выпячивания стенки кишки.

Таким образом, возникновение легких можно рассматривать как идиоадаптацию к недостатку кислорода в воде. При пересыхании водоемов у животных было два пути спасения: зарывание в ил или миграция в поисках воды. По первому пути пошли *двоякодышащие рыбы*, строение которых почти не изменилось со времени девона; они и сейчас обитают в мелких пересыхающих водоемах Африки (рис. 51). Эти рыбы переживают засушливое время года, зарываясь в ил и дыша атмосферным воздухом. *Лучеперые рыбы*, имевшие плавники, поддерживаемые костными лучами, сохранились в постоянных водоемах, широко распространились и сейчас составляют самый большой по числу видов класс позвоночных. Приспособиться к жизни на суше смогли только кистеперые рыбы. Их плавники имели вид лопастей, состоящих из отдельных костей с прикрепленными к ним мышцами (см. рис. 50). С помощью плавников эти крупные, от полутора до нескольких метров в длину, животные, могли ползать по дну и даже перебираться из одного водоема в другой. Они имели две основные пред-

Рис. 51. Оживление протоптера при помещении кокона в воду. Вверху слева изображен кокон протоптера, возникающий при пересыхании водоема



посылки для перехода в наземную среду обитания: мускулистые конечности и легкое. В конце девона кистеперые рыбы дали начало первым земноводным животным — *стегоцефалам* (рис. 52).

Для приспособления к жизни на суше потребовалась коренная перестройка всей организации животных. Конечность из цельной упругой пластинки преобразуется в систему рычагов с суставами. Наибольшая нагрузка падает на пояс задних конечностей, который становится значительно более мощным. Конечности удлиняются, особенно задние. Между позвонками развиваются суставы. Появляются слезные железы, подвижные веки, мышцы, втягивающие глаза внутрь орбиты; все это защищает роговицу глаза от высыхания. Боковые сегменты мышц туловища разделяются на большое число отдельных мышц, прикрепляющихся к разным частям скелета. Движение по суше связано с необходимостью увеличения подвижности головы, вследствие чего у наземных позвоночных череп обособляется от костей плечевого



Гигантское
стрекозоподобное
насекомое



Древнейшее пресмыкающееся —
диметродон



Древнейшее пресмыкающееся —
предок крокодила



Стегоцефал



Двоякодышащая рыба

Рис. 52. Животные палеозойской эры

пояса. Большая подвижность конечностей сопровождается отделением мышц плечевого пояса от боковых мышц тела и сильным развитием брюшных мышц.

На протяжении *каменноугольного периода* стегоцефалы жили, питались и размножались в воде. Они выползали на сушу,

но не совершали значительных миграций. Стегоцефалы разделились (дивергировали) на большое число форм — от крупных рыбоядных хищников до мелких, питавшихся беспозвоночными. На суше у стегоцефалов не было врагов и имелся обильный корм — черви, членистоногие, достигавшие крупных размеров (см. рис. 52). Многие группы земноводных переходили к жизни на суше и возвращались в воду только для размножения.

В конце палеозойской эры происходило поднятие суши, а климат становился суше и холоднее. Амфибии вымерли как из-за ухудшения климатических условий, так и вследствие истребления подвижными хищными рептилиями. Еще в каменноугольном периоде палеозойской эры среди стегоцефалов выделилась группа, имевшая хорошо развитые конечности и подвижную систему двух первых позвонков. Представители этой группы размножались в воде, но уходили по суше дальше амфибий, питались наземными животными, а затем и растениями. В дальнейшем именно от них произошли рептилии и млекопитающие.

Рептилии (пресмыкающиеся) приобрели некоторые свойства, позволившие им окончательно порвать связь с водной средой обитания. Внутреннее оплодотворение и накопление желтка в яйцеклетке сделали возможным размножение и развитие зародыша на суше. Ороговение кожи и более сложное строение почки способствовали резкому уменьшению потерь воды организмом и, как следствие, широкому расселению. Возникновение грудной клетки обеспечило более эффективный, чем у амфибий, тип дыхания — всасывающий. Отсутствие конкуренции вызвало широкое распространение рептилий на суше и возвращение некоторых из них — ихтиозавров — в водную среду.

? Вопросы для повторения и задания

1. Когда появились первые наземные растения? Как они назывались и какие отличительные особенности имели?
2. В каком направлении шла эволюция растений на суше?
3. Какие эволюционные преимущества дает переход растений к семенному размножению?
4. Охарактеризуйте животный мир палеозоя.
5. Назовите ароморфозы в эволюции позвоночных в палеозое.
6. Какие условия внешней среды и особенности строения позвоночных животных послужили предпосылками их выхода на сушу?

Подумайте

1. Почему земноводные каменноугольного периода достигли биологического процветания?
2. Можно ли утверждать, что в основе ароморфозов лежат идиоадаптации — частные приспособления к конкретным условиям внешней среды? Приведите примеры.

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

18. Жизнь в мезозойскую эру

Вспомните!

- Покрытосеменные растения • Цветок • Двойное оплодотворение • Эндосперм • Динозавры • Птицы • Млекопитающие
- Теплокровность • Кора головного мозга • Условные рефлексы
- Забота о потомстве

Около 240 млн лет назад наступила следующая, *мезозойская эра* развития жизни на Земле. В это время происходили интенсивные горообразовательные процессы. Появились Урал, Тянь-Шань, Алтай. На большей части земного шара установился теплый климат, близкий к современному тропическому. К концу мезозойской эры зона сухих климатических условий расширилась, сократились площади морей и океанов.

Вымерли гигантские папоротники, древовидные хвощи, плауны; достигли расцвета голосеменные и появились первые покрытосеменные (цветковые) растения, постепенно распространившиеся на все материки. Это было обусловлено рядом их преимуществ в борьбе за существование: покрытосеменные имеют сильно развитую проводящую систему, цветок привлекает насекомых-опылителей, что обеспечивает надежность перекрестного опыления, зародыш снабжен запасами пищи (благодаря двойному оплодотворению развивается триплоидный эндосперм) и защищен оболочками и т. д.



Рис. 53. Пресмыкающиеся мезозойской эры

В животном мире достигли расцвета насекомые и рептилии. Рептилии заняли господствующее положение и были представлены большим числом форм (рис. 53). Они захватили все среды обитания, появились даже летающие ящеры. В конце мезозойской эры специализация рептилий продолжалась, они достигли

громадных размеров. Началась параллельная эволюция цветковых растений и насекомых-опылителей.

Мезозойская эра завершилась новыми горообразовательными процессами. Возникли Альпы, Анды, Гималаи. Наступило похолодание, сократился ареал околотовной растительности. В морях вымерли многие формы беспозвоночных и морские ящеры. На суше вымерли растительноядные, а за ними — хищные динозавры. Крупные рептилии (крокодилы) сохранились лишь в тропическом поясе. Вследствие вымирания хищных рептилий наиболее приспособленными оказались теплокровные животные — птицы и млекопитающие.

Птицы произошли от вполне сформированных рептилий — архозавров. Возникновение птиц сопровождалось появлением крупных ароморфозов в их строении: они утратили одну из двух дуг аорты и приобрели полную перегородку между правым и левым желудочками сердца. Полное разделение артериального и венозного кровотока обусловило максимальное насыщение крови кислородом и теплокровность птиц, прогрессивно развивалась и дыхательная система — появились губчатые легкие. В остальных чертах своей организации они сходны с пресмыкающимися, и их иногда называют «пернатыми рептилиями». Все отличительные особенности строения птиц — перьевой покров, преобразование передних конечностей в крылья, роговой клюв, воздушные мешки и двойное дыхание, укорочение задней кишки, отсутствие мочевого пузыря и одного из яичников, наличие кила — являются приспособлениями к полету, т. е. идиоадаптациями.

Возникновение млекопитающих как класса связано с рядом крупных ароморфозов, развившихся у представителей одного из подклассов рептилий. К ним относятся: образование волосяного покрова и четырехкамерного сердца, полное разделение артери-



Рис. 54. Один из древних представителей млекопитающих

ального и венозного кровотоков благодаря утрате одной из двух дуг аорты, внутриутробное развитие потомства и вскармливание детенышей молоком. Вынашивание зародышей в теле матери и забота о потомстве резко повысили выживаемость млекопитающих. К ароморфозам следует отнести и развитие коры головного мозга, обусловившее преобладание условных рефлексов над безусловными и возможность приспособления к непостоянным условиям среды путем изменения поведения.

Млекопитающие возникли еще в начале мезозойской эры (рис. 54), но не могли конкурировать с хищными динозаврами, интенсивно истреблялись ими и на протяжении 100 млн лет занимали подчиненное положение.

Вопросы для повторения и задания

1. Когда появились цветковые растения? Укажите их эволюционные преимущества.
2. Какие ароморфозы привели к возникновению пресмыкающихся?
3. Когда и вследствие каких ароморфозов возникли млекопитающие? Кто был их предками?

Подумайте

В какой мере эволюция жизни на Земле зависит от геологических процессов и изменений климата? Приведите примеры из событий мезозойской эры.

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

19. Жизнь в кайнозойскую эру

Вспомните!

- Ледниковый период
- Сумчатые млекопитающие
- Плацентарные млекопитающие
- Мамонты

В начале *кайнозойской эры* (эры новой жизни) завершились горообразовательные процессы, начавшиеся в конце мезозоя. Обособились Средиземное, Черное, Каспийское и Аральское моря.

Установился ровный теплый климат. На севере преобладали хвойные, на юге — растительность теплого и умеренного климата. Вся Европа была покрыта лесами, состоящими из дуба, березы, сосны, каштана и др. В тропиках росли фикусы, лавровые, гвоздичные, эвкалипты и др.

Примерно 2—3 млн лет назад наступило оледенение значительной части Земли. Ледяной покров доходил в среднем до 57° с. ш., а в отдельных районах достигал 40° с. ш. Теплолюбивая растительность отступила на юг или вымерла, появилась холодоустойчивая травянистая и кустарниковая растительность, на больших территориях леса сменились степью, полупустыней и пустыней. Шло формирование современных растительных сообществ.

В течение кайнозойской эры продолжалось развитие животного мира. Увеличивалось многообразие насекомых, появлялись новые виды птиц и очень быстро развивались млекопитающие.

Млекопитающие были представлены тремя подклассами: однопроходными (утконос и ехидна), сумчатыми и плацентарными. Однопроходные возникли от звероподобных рептилий раньше и независимо от других млекопитающих. Сумчатые и плацентарные млекопитающие произошли от общего предка в конце мезозойской эры и сосуществовали до начала кайнозойской эры, когда наступил «взрыв» в эволюции плацентарных, в результате которого они вытеснили сумчатых с большинства континентов.

Наиболее примитивными были насекомоядные млекопитающие, от которых произошли первые хищные и приматы. Древние хищные дали начало копытным. Около 30—40 млн лет назад млекопитающие начали завоевывать море (китообразные, ластоногие и др.). К середине кайнозойской эры встречались уже все современные семейства млекопитающих. Одна из групп обезьян — австралопитеки — стала родоначальницей ветви, ведущей к роду Человек.

Оледенения, происходившие на протяжении кайнозойской эры и достигшие максимального распространения около 250 тыс. лет назад, способствовали развитию холодоустойчивой фауны. На Северном Кавказе и в Крыму встречались мамонты, шерстистые носороги, северные олени, песцы, полярные куропатки. Образование больших масс льда вызвало понижение уровня Мирового океана. Это понижение в разные периоды составляло 85—120 м по сравнению с современным. В результате обнажались материковые отмели Северной Америки и Северной Евразии и появились сухопутные «мосты», соединявшие Североамерикан-

ский континент с Евразийским (на месте нынешнего Берингова пролива), Британские острова с Европой и т. д. По таким «мостам» происходила миграция видов, приведшая к формированию современной нам фауны материков. Изменения климата 1,5—2 млн лет назад оказали решающее влияние на эволюцию предков человека.

? Вопросы для повторения и задания

1. Укажите основные различия фауны и флоры на Земле в мезозойскую и кайнозойскую эры.
2. Охарактеризуйте основные направления развития растений и животных в кайнозой.
3. Чем обусловлены колебания климата на Земле?
4. Как вы думаете, каково значение оледенений в эволюции наземной растительности?
5. Какая группа животных дала начало ветви, ведущей к человеку?

! Подумайте

В какой мере эволюция жизни на Земле зависит от геологических процессов и изменений климата? Приведите примеры из событий кайнозойской эры.

• Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

20. Происхождение человека

Вспомните!

- *Австралопитеки* • *Неандертальцы* • *Кроманьонцы*
- *Антропология* • *Прямохождение* • *Приматы* • *Гоминиды*
- *Речь* • *Расы*

Общий план строения и сходство многих черт организации человека и животных, особенно млекопитающих, очень давно привлекали внимание людей. В XVIII в. К. Линней поместил челове-

ка в отряд приматов вместе с лемуром и обезьяной. Ж. Б. Ламарк считал, что человек произошел от обезьяноподобных предков, перешедших от лазанья по деревьям к хождению по земле. Крупнейшим событием в понимании истории человека как вида стала работа Ч. Дарвина «Происхождение человека и половой отбор» (1871).

Изучением происхождения и эволюции человека, процесса перехода от биологических закономерностей, которым подчинялось существование его животных предков, к закономерностям социальным, занимается отрасль естествознания — *антропология* (от греч. *антропос* — человек).

Основные черты строения и особенности эмбрионального развития четко определяют положение вида Человек разумный в классе Млекопитающие, отряде Приматы, подотряде Человекоподобные обезьяны. Вместе с тем человек имеет специфические, присущие только ему особенности: прямохождение, мощно развитую мускулатуру нижних конечностей, сводчатую стопу с сильно развитым первым пальцем, подвижную кисть руки, позвоночник с четырьмя изгибами, расположение таза под углом 60° к горизонтали, очень большой мозг, крупные размеры мозгового и малые размеры лицевого черепа, бинокулярное зрение, ограниченную плодовитость, плечевой сустав, допускающий движения с размахом почти до 180° , и некоторые другие. Эти особенности строения и физиологии человека — результат эволюции его животных предков.

Эволюция приматов. Плацентарные млекопитающие возникли в самом конце мезозойской эры. От примитивных насекомоядных млекопитающих в кайнозое обособился отряд Приматы. Около 30 млн лет назад появились небольшие животные, жившие на деревьях и питавшиеся растениями и насекомыми. Их челюсти и зубы были такими же, как у человекообразных обезьян. От них произошли гиббоны, орангутаны и вымершие впоследствии древесные обезьяны — дриопитеки. Дриопитеки дали три ветви, которые повели к шимпанзе, горилле и человеку. Происхождение человека от обезьян, ведущих древесный образ жизни, предопределило особенности его строения, которые, в свою очередь, явились анатомической основой его способности к труду и дальнейшей социальной эволюции.

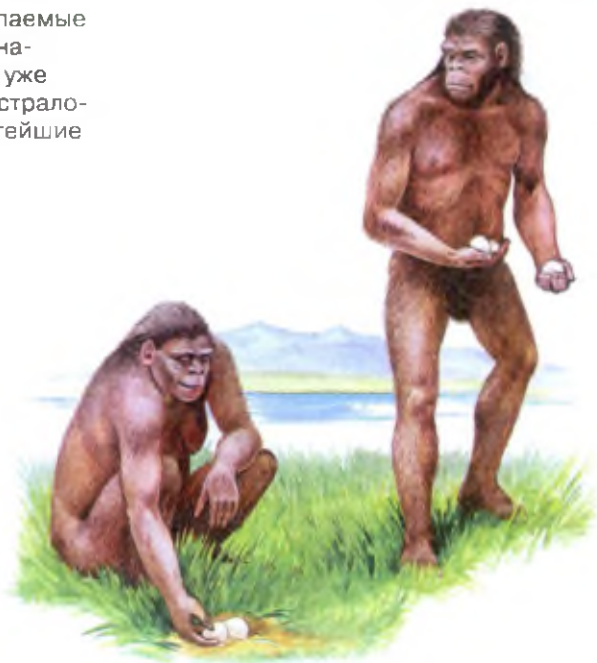
В конце кайнозоя наступило похолодание. Тропические и субтропические леса отступили на юг, появились обширные открытые пространства. Ледники, сползавшие со Скандинавских гор, проникли далеко на юг. Обезьяны, перешедшие к жизни на зем-

ле, стали приспособляться к новым суровым условиям и вести тяжелую борьбу за существование. Беззащитные против хищников, неспособные быстро бегать — достигать добычу или спасаться от врагов, лишенные густой шерсти, помогающей сохранять тепло, они могли выжить только благодаря стадному образу жизни и использованию освободившихся от передвижения рук. Решающим шагом на пути от обезьяны к человеку явилось *прямохождение*.

Одна из групп обезьян 10—12 млн лет назад дала начало ветви, ведущей к человеку. Этих животных, ископаемые останки которых найдены в Южной Африке, назвали *австралопитеками* (от лат. *австралис* — южный). Они жили стадами, имели массу 20—50 кг и рост 120—150 см, ходили на двух ногах при выпрямленном положении тела, руки были свободны. В отличие от всех обезьян, они имели сходное с человеком строение зубной системы. Масса мозга составляла 550 г. Для защиты и добывания пищи австралопитеки пользовались камнями, костями животных, т. е. имели хорошую двигательную координацию (рис. 55).

Около 2—3 млн лет назад жили существа, стоявшие ближе к человеку, чем австралопитеки. Масса их мозга достигала 650 г, они умели обрабатывать гальку с целью изготовления орудий.

Рис. 55. Австралопитеки. Ископаемые останки этих животных были обнаружены на юге Африки. Для них уже характерно прямохождение. Австралопитеки умели изготавливать простейшие орудия труда из гальки



Этих человекообразных обезьян отнесли к виду Человек умелый. Эволюция гоминид шла в направлении прогрессивного развития прямохождения, способности к труду и совершенствования головного мозга. По-видимому, в это же время они научились использовать огонь. Естественный отбор сохранял признаки, содействовавшие развитию стадности, т. е. усилению общественного характера поисков добычи и защиты от хищных зверей, что, в свою очередь, влияло на совершенствование руки и на развитие высшей нервной деятельности, способности к обучению. Это обеспечило победу обезьянолюдей в борьбе за существование и привело 1,5—2 млн лет назад к широкому расселению их по Африке, Средиземноморью, Южной, Центральной и Юго-Восточной Азии. Использование орудий труда, стадный образ жизни способствовали дальнейшему развитию мозга и возникновению речи (рис. 56).

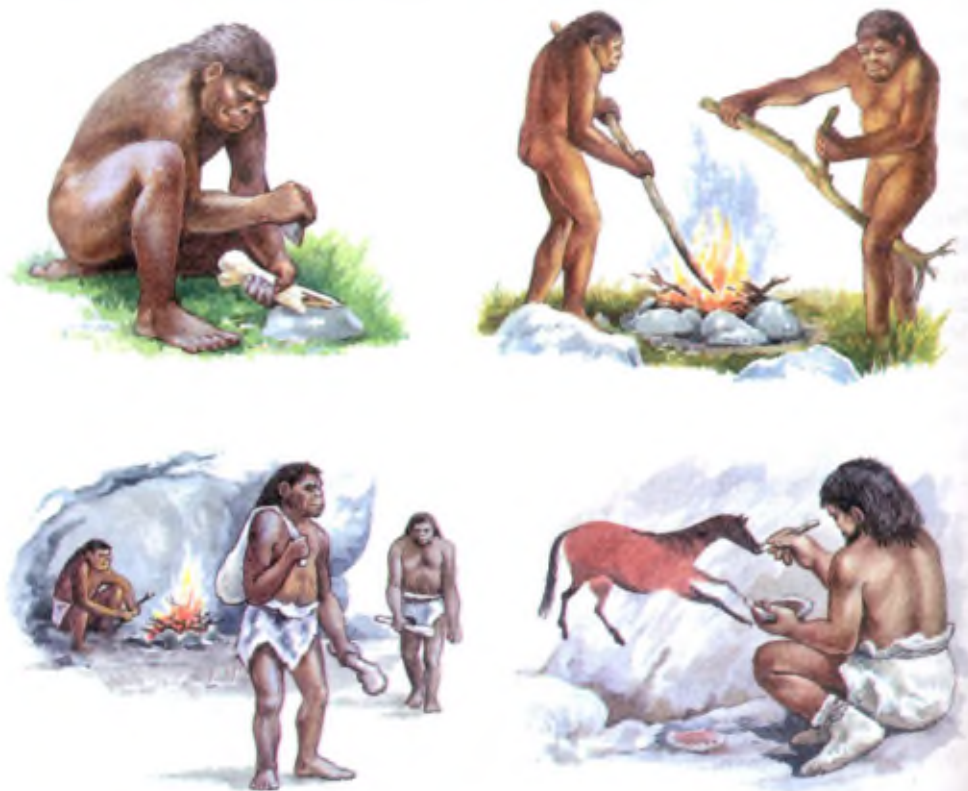


Рис. 56. Предки современного человека: сверху — человек умелый и человек прямоходящий, или выпрямленный; внизу — неандертальцы и кроманьонец

Стадии эволюции человека. Одним из признаков, отделяющих человекообразных обезьян от людей, считается масса мозга, равная 750 г. Именно при такой массе мозга ребенок овладевает речью (рис. 57А).

Речь древних людей была очень примитивной, но она составляет качественное отличие высшей нервной деятельности человека от высшей нервной деятельности животных. Слово, обозначающее действия, трудовые операции, предметы, а затем и обобщенные понятия, стало важнейшим средством общения между людьми. Речь способствовала более эффективному взаимодействию членов первобытного стада в трудовых процессах, передаче накопленного опыта от поколения к поколению. В борьбе за существование получили преимущество те первобытные стада древних людей, которые стали заботиться о стариках и поддерживать особей, слабых физически, но обладавших опытом и выделявшихся своими умственными способностями.

В процессе становления человека выделяют три стадии: древнейшие люди, древние люди, современные люди (рис. 57Б).

Считают, что *древнейшие люди* появились около 1 млн лет назад. Известно несколько форм древнейших людей: питекантроп, синантроп, гейдельбергский человек и ряд других. Внешне они уже походили на современного человека, хотя отличались мощными надбровными валиками, отсутствием подбородочного выступа, низким и покатым лбом. Масса мозга достигала 800—1000 г. Мозг имел более примитивное строение, чем у позднейших форм. Древнейшие люди успешно охотились на буйволов, носорогов, оленей, птиц. С помощью отесанных камней они раздвигали убитых животных, жили в основном в пещерах и умели использовать огонь.

К *древним людям (неандертальцам)* относят группу людей, появившихся около 200 тыс. лет назад. Они занимают промежуточное положение между древнейшими людьми и первыми современными людьми. Неандертальцы были очень неоднородной группой. Изучение многочисленных скелетов показало, что в эволюции неандертальцев при всем разнообразии строения можно выделить несколько линий.

Одна из групп неандертальцев отличалась мощным физическим развитием при сравнительно небольшом росте, низким скошенным лбом, низким затылком, слабо развитым подбородочным выступом, крупными зубами; масса их мозга достигала 1500 г. Другая группа характеризовалась более тонкими чертами — меньшими надбровными валиками, высоким лбом, более тонки-

ми челюстями и более развитым подбородком. В общем физическом развитии они заметно уступали первой группе, но взамен у них значительно увеличился объем лобных долей головного мозга. У этой группы неандертальцев главным в борьбе за существование стало не усиление физического развития, а развитие внутригрупповых связей — на охоте, при защите от врагов, от неблагоприятных природных условий, т. е. объединение сил отдельных особей. Этот эволюционный путь и привел к появлению 40—50 тыс. лет назад вида *Человек разумный* — *Homo sapiens*. Некоторое время неандертальцы и первые современные люди — кроманьонцы — сосуществовали, а затем первые были вытеснены вторыми.

Первые *современные люди* — *кроманьонцы* были высокого роста (до 180 см) с высоким лбом, объем их черепной коробки достигал 1600 см. Сплошной надглазничный валик отсутствовал. Кроманьонцы владели членораздельной речью, о чем свидетельствует наличие подбородочного выступа.

Хорошо развитый мозг, общественный характер труда привели к резкому уменьшению зависимости человека от внешней среды, к появлению абстрактного мышления и попыткам отражения окружающей действительности в художественных образах — на скальных рисунках, вырезанных из кости фигурках и т. п.

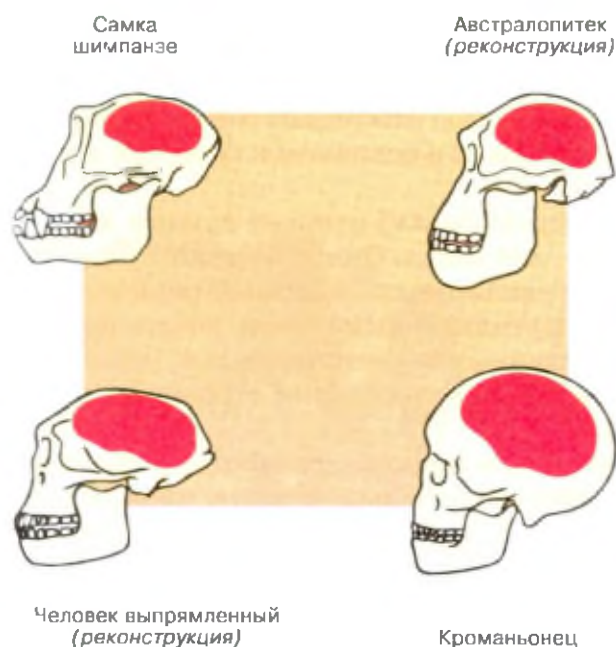


Рис. 57А. Изменения черепа и объема мозга в ряду от человекообразной обезьяны до человека: объем черепной коробки увеличивался; место сочленения головы и шеи смещалось по мере выпрямления тела; с переходом от питания растительной пищей ко всеядности величина зубов и челюстей уменьшалась

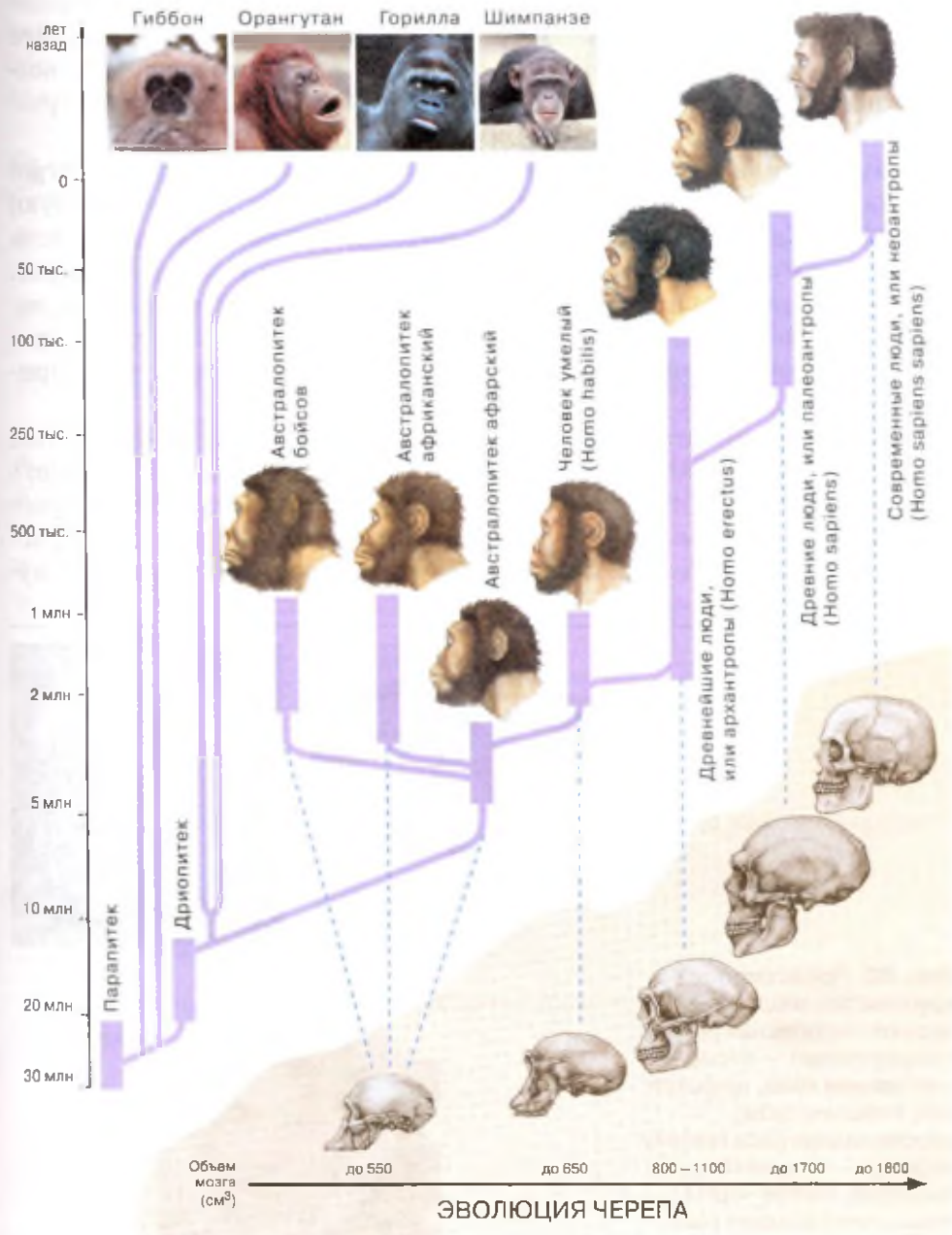


Рис. 57Б. Эволюционное древо приматов и человека

Эволюция человека вышла из-под ведущего контроля биологических факторов и приобрела социальный характер. Основные этапы становления человека изображены на рисунках 56 и 57.

Современный этап эволюции человека. Все современное человечество принадлежит к одному виду. Человечество едино, что подтверждает общность происхождения, сходство строения, возможность браков между представителями разных рас с получением плодовитого потомства.

Внутри вида *Homo sapiens* выделяют три большие расы: негроидную (черную), европеоидную (белую), монголоидную (желтую) (рис. 58). Каждая из них делится на малые расы. Общий уровень физического и умственного развития одинаков у людей всех рас. Различия между расами сводятся к особенностям цвета кожи, волос, глаз, формы носа, губ и т. д. Возникли эти различия в процессе приспособления человеческих популяций к местным природным условиям.

Ведущую роль в эволюции человечества на современном этапе стали играть социальные факторы, однако жизнедеятельность каждого отдельного человека подчинена биологическим законам. Сохраняет все свое значение и мутационный процесс как источник генотипической изменчивости. В известной мере действу-



Рис. 58. Представители крупных рас вида *Homo sapiens*: негроидная раса (вверху слева) — пигментированная кожа, широкий нос, большие губы; европеоидная раса (вверху справа) — кожа не пигментирована, тонкие черты лица; монголоидная раса (внизу) — уплощенное лицо, узкий разрез глаз



ет стабилизирующая форма естественного отбора, устраняя резко выраженные отклонения от средней нормы.

В процессе социальной эволюции человечества создаются все более и более благоприятные возможности для раскрытия индивидуальности каждого человека, реализации его личных качеств. Общественный характер труда позволил человеку выделиться из природы, создать для себя искусственную среду обитания.

Вопросы для повторения и задания

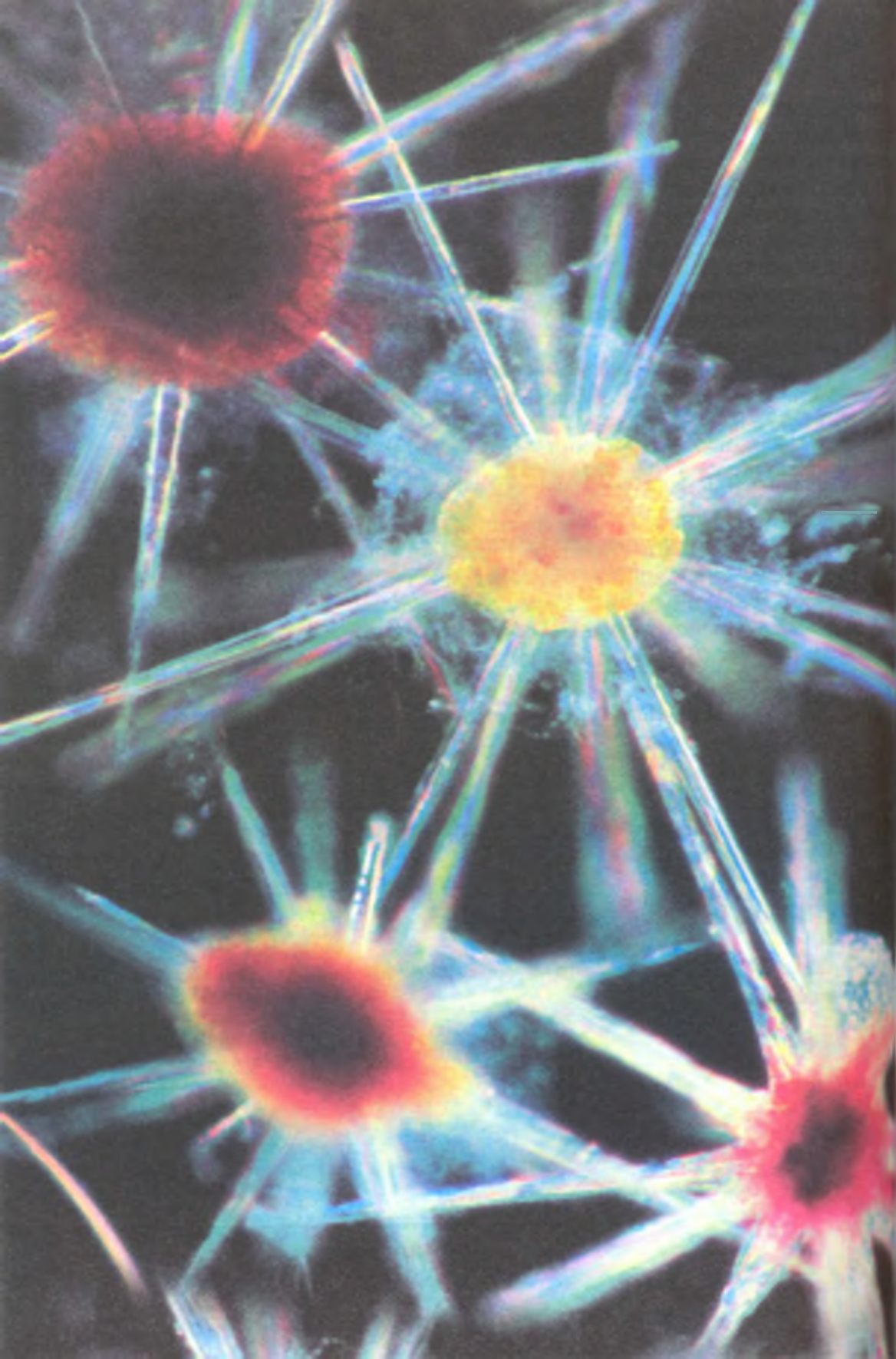
1. Назовите признаки человека, позволяющие отнести его к подтипу позвоночных животных, классу млекопитающих.
2. Какие признаки являются общими для человека и человекообразных обезьян?
3. Какие признаки, развивающиеся у зародыша человека, указывают на его животное происхождение?
4. Какие стадии выделяют в процессе становления человека как вида?
5. Какие факторы явились ведущими в эволюции первых современных людей?
6. Когда появились первые современные люди?
7. Почему неандертальцы были вытеснены современными людьми — кроманьонцами?
8. Какие основные расы выделяют внутри вида Человек разумный?

Подумайте

В чем заключаются отличия Человека разумного от его животных предков и чем они обусловлены?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.





Раздел



Структурная организация живых организмов

Начало биологической эволюции связано с появлением на Земле клеточных форм жизни.

Одноклеточные организмы представляют собой существующие отдельно друг от друга клетки. Тело всех многоклеточных — животных, растений и грибов — построено из большего или меньшего числа клеток, которые являются

своего рода блоками, составляющими сложный организм.

Независимо от того, представляет ли собой клетка целостную систему — отдельный организм или составляет лишь его часть, она наделена набором признаков и свойств, общим для всех клеток.

Рассмотрим подробнее химический состав, структуру и особенности жизнедеятельности элементарной единицы строения живых организмов — клетки.



Химическая организация клетки

В состав клетки входит около 70 химических элементов, встречающихся и в неживой природе, и это — одно из доказательств общности живой и неживой природы. Однако соотношение химических элементов в живой и неживой материи различно. В зависимости от содержания в живом организме химические элементы подразделяют на несколько групп.

Около 98% массы клетки образуют четыре элемента: водород, кислород, углерод и азот. Их называют *макроэлементами*. Это главные компоненты всех органических соединений. Вместе с серой и фосфором, являющимися необходимыми компонентами молекул биологических полимеров (от греч. *полис* — много, *мерос* — часть) — белков и нуклеиновых кислот, их часто называют *биоэлементами*.

В меньших количествах в состав клетки, кроме упомянутых фосфора и серы, входят шесть элементов: калий, натрий, кальций, магний, железо и хлор. Каждый из них выполняет в клетке важную функцию. Например, Na, K и Cl обеспечивают проницаемость клеточных мембран для различных веществ и проведение импульса по нервному волокну. Ca и P участвуют в формировании костной ткани, от них зависит прочность кости. Кроме того, Ca — один из факторов, от которых зависит нормальная свертываемость крови. Железо входит в состав гемоглобина — белка эритроцитов, участвующего в переносе кислорода от легких к тканям. Наконец, Mg в клетках растений включен в хлорофилл — пигмент, участвующий в фотосинтезе, а у животных входит в состав биологических катализаторов — ферментов, ускоряющих биохимические превращения.

Все остальные элементы (цинк, медь, иод, фтор, кобальт, марганец, молибден, бор и др.) содержатся в клетке в очень малых количествах. Общий их вклад в ее массу — всего 0,02%. Поэтому их называют *микроэлементами*. Однако и они имеют жизненно важное значение. Микроэлементы входят в состав ферментов, витаминов

и гормонов — веществ, обладающих большой биологической активностью. Так, недостаток иода, входящего в состав гормона щитовидной железы тироксина, приводит к уменьшению его образования, т. е. к гипофункции железы и в результате — к развитию заболевания. Цинк входит в состав ряда ферментов, гормона поджелудочной железы — инсулина; он усиливает активность половых гормонов. Кобальт — необходимый компонент витамина B_{12} , участвующего в процессах синтеза нуклеиновых кислот.

21. Неорганические вещества, входящие в состав клетки

Вспомните!

- Полярность молекул
- Водородные связи
- Ковалентные связи
- Катализаторы

Вода. Самое распространенное неорганическое соединение в живых организмах — вода. Ее содержание колеблется в широких пределах: в клетках эмали зубов около 10% воды, а в клетках развивающегося зародыша — более 90%. В среднем в многоклеточном организме вода составляет около 80% массы тела.

Роль воды в клетке очень велика. Для живых организмов это не только необходимый компонент составляющих их клеток, но зачастую еще и среда обитания.

Функции воды во многом определяются ее химическими и физическими свойствами. Эти свойства связаны главным образом с малыми размерами молекул воды и их *полярностью*, а также способностью соединяться друг с другом водородными связями.

Под полярностью подразумевают неравномерное распределение зарядов в молекуле. У молекулы воды один конец несет небольшой положительный заряд, а другой — отрицательный. Такую молекулу называют *диполем*. Более электроотрицательный атом кислорода притягивает электроны водородных атомов — возникает электростатическое взаимодействие, молекулы воды как будто склеиваются (рис. 59). Эти взаимодействия, более слабые, чем ионные связи, называют водородными связями. Вода — превосходный растворитель для полярных веществ, участвующих в обменных процессах.

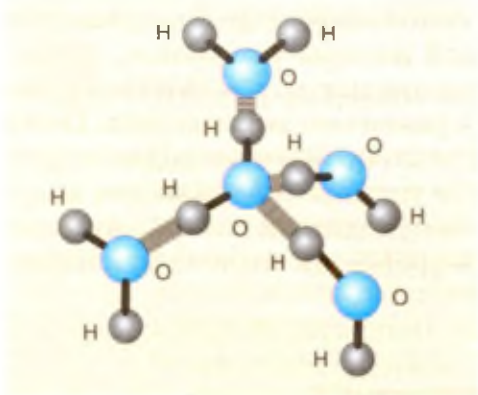


Рис. 59. Схема образования связей между отдельными диполями воды

В качестве растворителя вода обеспечивает как приток веществ в клетку, так и удаление из нее продуктов жизнедеятельности, поскольку большинство химических соединений может проникнуть через наружную клеточную мембрану только в растворенном виде.

Не менее важна и чисто химическая роль воды. Под действием некоторых катализаторов — ферментов — она вступает в реакции *гидролиза*, при которых к свободным валентностям различных молекул присоединяются группы OH^- или H^+ воды. В результате образуются новые вещества с новыми свойствами.

Вода обладает хорошей теплопроводностью и большой теплоемкостью, поэтому температура внутри клетки остается неизменной или ее колебания оказываются значительно меньшими, чем в окружающей клетку среде.

Минеральные соли. Большая часть неорганических веществ клетки находится в виде солей — либо в ионном состоянии, либо в виде твердой нерастворимой соли. Среди первых большое значение имеют катионы K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , которые обеспечивают такое важнейшее свойство живых организмов, как раздражимость. В тканях многоклеточных животных кальций входит в состав межклеточного «цемента», обуславливающего сцепление клеток между собой и упорядоченное их расположение в тканях.

От концентрации солей внутри клетки зависят ее буферные свойства. *Буферностью* называют способность клетки поддерживать слабощелочную реакцию своего содержимого на постоянном уровне. Внутри клетки буферность обеспечивается главным образом анионами H_2PO_4^- и HPO_4^{2-} . Во внеклеточной жидкости и в крови роль буфера играют H_2CO_3 и HCO_3^- . Анионы слабых кислот

и слабые щелочи связывают ионы водорода и гидроксил-ионы (ОН⁻), благодаря чему реакция внутри клетки, т. е. величина рН, практически не меняется.

Основная масса Са и Р используется для построения костной ткани в виде двойных углекислых и фосфорнокислых солей с общей формулой $\text{CaCO}_3 \cdot n\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Они входят также в состав раковин моллюсков, обеспечивая прочность этих образований.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие химические элементы составляют большую часть массы клетки?
2. Что такое микроэлементы? Приведите примеры и охарактеризуйте их биологическое значение.
3. Каковы особенности пространственной организации молекулы воды, обуславливающие ее биологическое значение?
4. Какие минеральные соли входят в состав живых организмов?
5. Какие вещества обуславливают буферные свойства клетки?

Подумайте

Почему жизнь на нашей планете зародилась именно в водной среде?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

22. Органические вещества, входящие в состав клетки

Вспомните!

- *Определение жизни по Энгельсу* • *Определение жизни по Волькенштейну* • *Полимеры* • *Ферменты* • *Антитела*
- *Антигены* • *Полисахариды* • *Нуклеиновые кислоты*
- *Биологическая информация*

Органические соединения составляют в среднем 20—30% массы клетки живого организма. К ним относятся биологические полимеры — белки, нуклеиновые кислоты и углеводы, а также

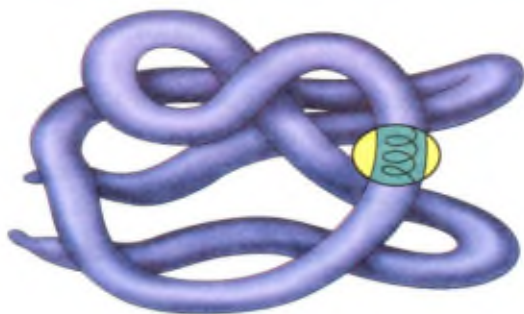


Рис. 60. Схема укладки полипептидной цепи в белковой молекуле

жиры и ряд небольших молекул — гормоны, пигменты, аминокислоты, простые сахара, нуклеотиды и т. д. Разные типы клеток содержат разные количества органических соединений. Так, в растительных клетках преобладают углеводы. Наоборот, белков больше в животной клетке, чем в растительной (40—50% против 20—35%).

Каждая группа органических веществ в клетке любого типа выполняет сходные функции.

Белки. Среди органических веществ клетки белки занимают первое место как по количеству, так и по значению. Это высокомолекулярные полимерные соединения, мономером которых служат аминокислоты. В организме человека встречается 5 млн типов белковых молекул, отличающихся не только друг от друга, но и от белков других организмов. Такое разнообразие обеспечивается сочетанием всего лишь 20 разных аминокислот, составляющих несколько сотен, а иногда и тысяч комбинаций. Например, из 20 остатков аминокислот теоретически можно составить около $2 \cdot 10^{18}$ вариантов белковых молекул, различающихся порядком чередования аминокислот, а значит, и формой, и свойствами. Молекулы белков могут быть спиралевидными, складчатыми или шарообразными (рис. 60).

Функции белков в клетке чрезвычайно многообразны. Одна из важнейших — *строительная (структурная) функция*: белки участвуют в образовании всех клеточных мембран и органоидов клетки, а также внеклеточных структур.

Исключительно важное значение имеет *каталитическая роль* белков. Все ферменты — вещества белковой природы, они ускоряют химические реакции, протекающие в клетке, в десятки и сотни тысяч раз.

Двигательная функция живых организмов обеспечивается специальными сократительными белками. Эти белки участвуют во всех видах движения, к которым способны клетки и организмы: образование псевдоподий, мерцание ресничек и биение жгутиков у простейших, сокращение мышц у многоклеточных животных, движение листьев у растений и др.

Транспортная функция белков заключается в присоединении химических элементов (например, кислорода) или биологически активных веществ (гормонов) и переносе их к различным тканям и органам тела.

Защитная функция. При поступлении в организм чужеродных белков или микроорганизмов в белых кровяных тельцах — лейкоцитах — образуются особые белки — антитела. Они связывают и обезвреживают несвойственные организму вещества (антигены).

Белки служат и одним из источников энергии в клетке, т. е. выполняют *энергетическую функцию*. При полном расщеплении 1 г белка выделяется 17,6 кДж энергии.

Углеводы. Углеводы, или сахараиды, — органические вещества с общей формулой $C_n(H_2O)_m$. У большинства углеводов число молекул воды вдвое превышает количество атомов углерода, поэтому они и были названы углеводами.

В животной клетке углеводов содержится всего 1—2%, иногда 5%, в растительных же клетках их содержание в некоторых случаях достигает 90% сухой массы (клубни картофеля, семена и т. д.).

Углеводы подразделяются на моносахариды и полисахариды. *Моносахариды* — это простые сахара. Из них наиболее важны глюкоза, фруктоза и галактоза. Глюкоза содержится в крови (0,1—0,12%). Рибоза и дезоксирибоза входят в состав нуклеиновых кислот.

Соединения, содержащие два моносахаридных остатка, называют *дисахаридами* — это мальтоза, лактоза и сахароза. Сахароза (тростниковый сахар) наиболее распространена в растениях. В ее состав входят глюкоза и фруктоза.

Сложные углеводы, образованные остатками многих моносахаридов, называют *полисахаридами*. Мономером таких полисахаридов, как крахмал, гликоген, целлюлоза, является глюкоза.

Углеводы выполняют две основные функции: *строительную* и *энергетическую*. Например, целлюлоза образует стенки растительных клеток; сложный полисахарид хитин — главный струк-

турный компонент наружного скелета членистоногих. Строительную функцию хитин выполняет и у грибов.

Углеводы играют роль основного источника энергии в клетке. В процессе окисления 1 г углеводов освобождается 17,6 кДж энергии. Крахмал у растений и гликоген у животных, откладываясь в клетках, служат резервом пищи и энергии.

Липиды. Нерастворимые в воде органические вещества называют липидами. Это группа соединений, отличающихся большим разнообразием.

Самые распространенные из липидов, встречающихся в природе, — *нейтральные жиры*. Их принято делить на жиры и масла в зависимости от того, остаются ли они твердыми при 20 °С (жиры) или имеют при этой температуре жидкую консистенцию (масла).

Основная функция жиров — служить *энергетическим резервуаром*. Калорийность липидов выше энергетической ценности углеводов. В ходе расщепления 1 г жиров до CO_2 и H_2O освобождается 38,9 кДж энергии. Содержание жира в клетке колеблется в пределах 5—15% от массы сухого вещества. В клетках жировой ткани количество жира возрастает до 90%. В организме животных, впадающих в спячку, накапливается избыток жира, у позвоночных животных жир откладывается еще и под кожей — в так называемой подкожной клетчатке, где он служит для теплоизоляции. Одним из продуктов окисления жиров является вода. Эта метаболическая вода очень важна для обитателей пустынь. Так, жир, которым заполнен горб верблюда, служит в первую очередь не источником энергии (как часто ошибочно полагают), а источником воды.

Очень важную роль для живых организмов играют фосфолипиды, являющиеся компонентами мембран, т. е. выполняющие *строительную функцию*.

Из липидов можно отметить также воск, который используется у растений и животных в качестве водоотталкивающего покрытия. Из воска пчелы строят соты. Широко представлены в животном и растительном мире стероиды — это желчные кислоты и их соли, половые гормоны, витамин D, холестерол, гормоны коры надпочечников и т. д. Они выполняют ряд важных биохимических и физиологических функций.

Липиды, связанные с белками, образуют липопротеиды, выполняющие *транспортную и строительную функции*. Гликолипиды образуются в результате соединения липидов с углеводами. Гликолипидные молекулы полярны, они расположены на поверхности наружной клеточной мембраны животных клеток.

Нуклеиновые кислоты. Значение нуклеиновых кислот в клетке очень велико. Благодаря особенностям своего химического строения они хранят, переносят и передают по наследству дочерним клеткам информацию о структуре белковых молекул, которые синтезируются в каждой ткани на определенном этапе индивидуального развития. Большинство свойств и признаков клеток обусловлено белками, поэтому понятно, что стабильность нуклеиновых кислот — важнейшее условие нормальной жизнедеятельности клеток и целых организмов. Любые изменения строения нуклеиновых кислот влекут за собой изменения структуры клеток или активности физиологических процессов в них, влияя таким образом на жизнеспособность организма.

Структуру нуклеиновых кислот установили в 1953 г. американский биолог Дж. Уотсон и английский физик Ф. Крик. Изучение ее имеет исключительно важное значение для понимания механизма наследования признаков у организмов и закономерностей функционирования как отдельных клеток, так и клеточных систем — тканей и органов.

Нуклеиновые кислоты — это полимеры, построенные из огромного числа мономерных единиц, называемых *нуклеотидами*.

Различают два типа нуклеиновых кислот. *Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК)* — двуцепочечный полимер с очень большой молекулярной массой. В одну молекулу могут входить 10^8 и более нуклеотидов (рис. 61). ДНК несет в себе закодирован-

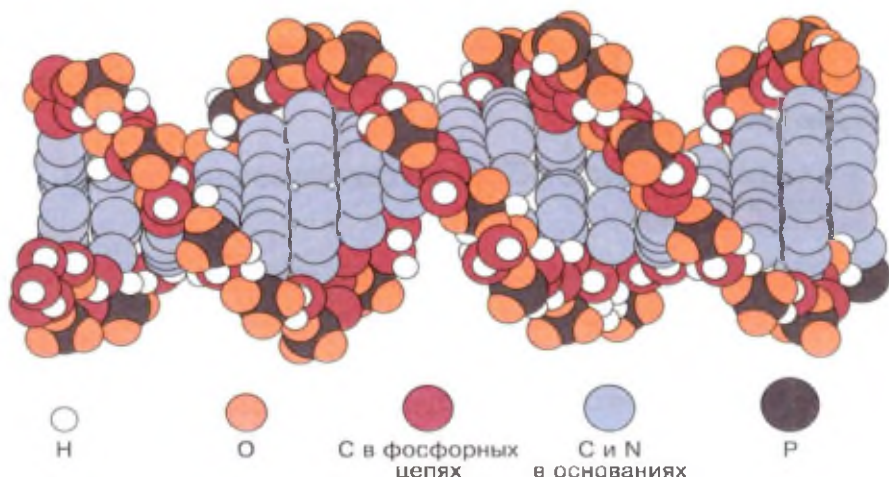


Рис. 61. Схема строения молекулы ДНК

ную информацию о последовательности аминокислот в белках, синтезируемых клеткой, и обладает способностью к воспроизведению.

Рибонуклеиновая кислота (РНК), в отличие от ДНК, бывает в большинстве случаев одноцепочечной. Существует несколько видов РНК: *информационные (иРНК)*, *транспортные (тРНК)* и *рибосомальные (рРНК)*. Они различаются по структуре, величине молекул, расположению в клетке и выполняемым функциям.



Вопросы для повторения и задания

1. Какие органические вещества входят в состав клетки?
2. Из каких простых органических соединений состоят белки?
3. Что такое пептиды?
4. Какие функции белков вам известны?
5. Какие химические соединения называют углеводами?
6. Какой простой углевод служит мономером крахмала, гликогена, целлюлозы?
7. Перечислите функции углеводов. Какие клетки наиболее богаты углеводами?
8. Что такое липиды? Опишите их химический состав.
9. Какие функции выполняют липиды? В каких клетках и тканях их особенно много?
10. Откуда в организме берется метаболическая вода?
11. Что такое нуклеиновые кислоты? Какие типы нуклеиновых кислот вы знаете?
12. Какие простые органические соединения служат элементарной составной частью нуклеиновых кислот?



Подумайте

Какие особенности строения атома углерода обуславливают его ключевую роль в формировании молекул органических веществ?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

10

Обмен веществ и преобразование энергии в клетке

Для поддержания жизнедеятельности клеток в них непрерывно идут процессы биологического синтеза, или биосинтеза. С помощью ферментов из простых низкомолекулярных веществ образуются сложные высокомолекулярные соединения: из аминокислот синтезируются белки, из моносахаридов — сложные углеводы. Азотистые основания включаются в состав нуклеотидов, из которых формируются нуклеиновые кислоты. Разнообразные липиды возникают путем химических превращений сравнительно простых веществ, источником которых служит остаток уксусной кислоты — ацетат. Так образуются жирные кислоты, отличающиеся друг от друга числом атомов углерода в молекуле. Соединяясь с глицерином, они образуют известные нам жиры и масла. В конечном счете структура всех органических молекул, синтез которых осуществляется с помощью ферментов, определяется совокупностью генов данной клетки — *генотипом*.

Синтезированные вещества используются в процессе роста для построения клеток и их органоидов и для замены израсходованных или разрушенных молекул. Все реакции синтеза идут с поглощением энергии. В ходе реакций распада, наоборот, энергия выделяется.

23. Пластический обмен. Биосинтез белков

Вспомните!

- Аминокислоты • Нуклеотиды • Рибосомы • Генетический код
- РНК • ДНК

Совокупность реакций биологического синтеза называют *пластическим обменом* (или *ассимиляцией*). Название данного вида обмена отражает его сущность: из простых веществ, поступающих в клетку извне, образуются вещества клетки.

Рассмотрим одну из важнейших форм пластического обмена — биосинтез белков. Как уже отмечалось, все многообразие их свойств в конечном счете определяется последовательностью аминокислот в полипептидной цепи. Множество отобранных эволюцией уникальных сочетаний аминокислот воспроизводится путем синтеза нуклеиновых кислот с последовательностью азотистых оснований, соответствующей последовательности аминокислот в белках. Каждой аминокислоте в полипептидной цепочке в молекуле ДНК соответствует комбинация из трех нуклеотидов — *триплет*. Эта зависимость между триплетами оснований и аминокислотами называется *генетическим кодом*. В такой код входит 64 разных триплета — возможные сочетания трех из четырех азотистых оснований.

Некоторые аминокислоты кодируются несколькими триплетами. Такая *избыточность кода* повышает надежность передачи генетической информации. Случайная замена третьего нуклеотида в этих триплетах никак не отразится на структуре синтезируемого белка. В каждой молекуле ДНК, состоящей из миллионов нуклеотидных пар, записана информация о последовательности аминокислот в сотнях различных белков. Каким образом участок молекулы ДНК, несущий информацию о структуре одного белка, отграничивается от других участков? Существуют триплеты, которые «запускают» синтез полинуклеотидной цепочки, и триплеты, которые прекращают синтез, т. е. служат «знаками препинания».

Одно из основных свойств кода — его *специфичность*. Один триплет всегда соответствует одной аминокислоте. Код *универсален* для всего живого — от микроорганизмов до человека.

Для того чтобы синтезировался белок, информация о последовательности аминокислот в его структуре должна быть доставлена к рибосомам — органоидам клетки, осуществляющим синтез белка. Для этого на одной из цепей молекулы ДНК синтезируется одноцепочечная молекула РНК, последовательность нуклеотидов которой точно соответствует (*комплементарна*) последовательности нуклеотидов матрицы — полинуклеотидной цепи ДНК. Так образуется информационная РНК (иРНК), которая затем перемещается в цитоплазму клетки (рис. 62).

В цитоплазме к одному из концов иРНК прикрепляются субъединицы рибосомы и начинается синтез полипептида. Рибосома перемещается по молекуле иРНК не плавно, а прерывисто, триплет за триплетом (рис. 63).

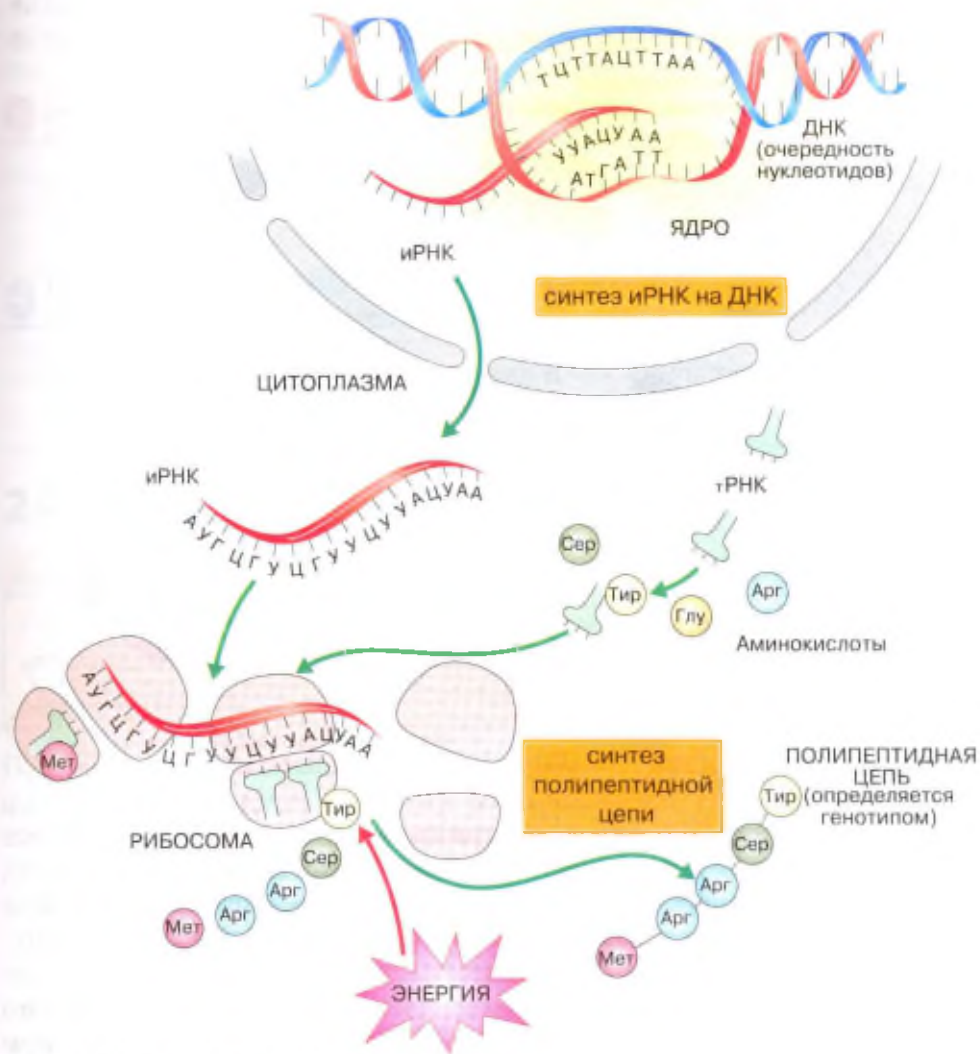


Рис. 62. Схема биосинтеза белка

По мере перемещения рибосомы по молекуле иРНК к полипептидной цепочке одна за другой пристраиваются аминокислоты, соответствующие триплетам иРНК. Точное соответствие аминокислоты коду триплета иРНК обеспечивается транспортной РНК. Для каждой аминокислоты существует своя тРНК, один из триплетов которой комплементарен строго определенному триплету иРНК. Точно так же каждой аминокислоте соответствует свой фермент, присоединяющий ее к тРНК. После завершения синтеза полипеп-

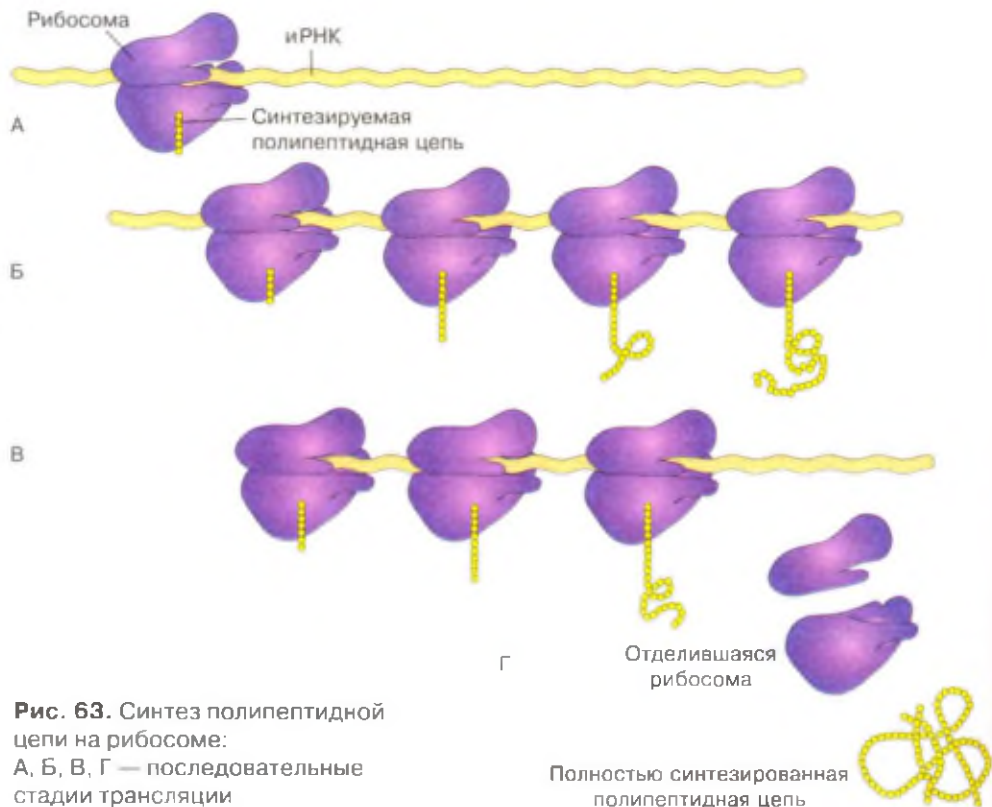


Рис. 63. Синтез полипептидной цепи на рибосоме:
А, Б, В, Г — последовательные стадии трансляции

тидная цепочка отделяется от матрицы — молекулы иРНК. Молекула иРНК может использоваться для синтеза полипептидов многократно, как и рибосома. В целом процесс перевода информации, заключенной в последовательности нуклеотидов в ДНК, в последовательность аминокислот в белке показан на рисунке 62.

Описание синтеза белков дано здесь очень упрощенно. На самом деле этот процесс чрезвычайно сложен и связан с участием многих ферментов и затратой большого количества энергии.

Поразительная сложность системы биосинтеза и ее высокая энергоемкость обеспечивают высокую точность и упорядоченность синтеза полипептидов.



Вопросы для повторения и задания

1. Дайте определение ассимиляции.
2. Назовите основные свойства генетического кода и поясните их значение.

3. Что такое комплементарность?
4. Где синтезируются рибонуклеиновые кислоты?
5. Где происходит синтез белка?

! Подумайте

Почему биосинтез белка считают одной из важнейших форм пластического обмена?

→ Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

24. Энергетический обмен. Способы питания

Вспомните!

- Брожение • Дыхание • Нитрифицирующие бактерии
- Фотосинтез • Хемосинтез • Фототрофы • Хемотрофы
- Митохондрии

Процессом, противоположным синтезу, является *диссимиляция* — совокупность реакций расщепления. При расщеплении высокомолекулярных соединений выделяется энергия, необходимая для реакций биосинтеза. Поэтому диссимиляцию называют еще *энергетическим обменом* клетки.

Химическая энергия питательных веществ заключена в различных ковалентных связях между атомами в молекуле органических соединений. В глюкозе количество потенциальной энергии, заключенной в связях между атомами С, Н и О, составляет 2800 кДж на 1 моль (т. е. на 180 г глюкозы). При расщеплении глюкозы энергия выделяется поэтапно при участии ряда ферментов:



Часть энергии, освобождаемой из питательных веществ, рассеивается в форме теплоты, а часть аккумулируется, т. е. накапливается, в богатых энергией фосфатных связях аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Именно АТФ обеспечивает энергией все клеточные функции: биосинтез, механическую работу (деление клетки, сокращение мышц), активный перенос веществ че-

рез мембраны, поддержание мембранного потенциала в процессе проведения нервного импульса, выделение различных секретов.

Молекула АТФ состоит из азотистого основания аденина, сахара рибозы и трех остатков фосфорной кислоты. Аденин, рибоза и первый фосфат образуют аденозинмонофосфат (АМФ). Если к первому фосфату присоединяется второй, получается аденозиндифосфат (АДФ). Молекула с тремя остатками фосфорной кислоты (АТФ) наиболее энергоемка. Отщепление концевой фосфата АТФ сопровождается выделением 40 кДж, а не 12 кДж энергии, как при разрыве обычных химических связей. Благодаря богатым энергией связям в молекулах АТФ клетка может накапливать большое количество энергии и расходовать ее по мере необходимости. Синтез АТФ осуществляется в специальных органоидах клетки — митохондриях (см. рис. 67). Отсюда молекулы АТФ поступают в разные участки клетки, обеспечивая энергией процессы жизнедеятельности.

Этапы энергетического обмена. Энергетический обмен обычно делят на три этапа. *Первый этап* — подготовительный. На этом этапе молекулы ди- и полисахаридов, жиров, белков распадаются на мелкие молекулы — глюкозу, глицерин и жирные кислоты, аминокислоты; крупные молекулы нуклеиновых кислот — на нуклеотиды. При этом выделяется небольшое количество энергии, которая рассеивается в виде теплоты.

Второй этап — бескислородный, осуществляющийся в цитоплазме клеток. Он называется также *анаэробным дыханием (гликолизом)* или *брожением*. Термин «брожение» обычно применяют по отношению к процессам, протекающим в клетках микроорганизмов или растений. Образующиеся на этом этапе вещества при участии ферментов подвергаются дальнейшему расщеплению.

У дрожжевых грибов молекула глюкозы без участия кислорода превращается в этиловый спирт и диоксид углерода (спиртовое брожение).

У других микроорганизмов гликолиз может завершаться образованием ацетона, уксусной кислоты и т. д.

В мышцах в результате анаэробного (бескислородного) дыхания одна молекула глюкозы распадается на две молекулы молочной кислоты. В реакциях расщепления глюкозы участвуют фосфорная кислота и АДФ.

Во всех случаях распад одной молекулы глюкозы сопровождается образованием двух молекул АТФ. В ходе бескислородного расщепления глюкозы в виде химической связи в молекуле АТФ сохраняется 40% энергии, а остальная рассеивается в виде теплоты.

Третий этап энергетического обмена — стадия *аэробного дыхания*, или *кислородного расщепления*, реакции которой также катализируются ферментами. При доступе кислорода образовавшиеся в клетке во время предыдущего этапа вещества окисляются до конечных продуктов — H_2O и CO_2 . Это сопровождается выделением большого количества энергии и аккумуляцией ее в молекулах АТФ — при окислении двух молекул молочной кислоты образуется 36 молекул АТФ. Следовательно, основную роль в обеспечении клетки энергией играет аэробное дыхание.

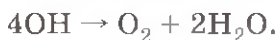
Способы питания. В процессе питания организмы получают химические соединения, используемые в дальнейшем для всех процессов жизнедеятельности.

По способу получения органических веществ, т. е. по способу питания, все организмы делятся на две группы: автотрофные и гетеротрофные.

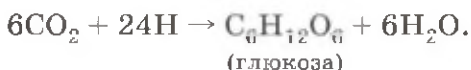
Автотрофы — это организмы, которые способны сами синтезировать необходимые им органические вещества, получая из окружающей среды углерод в виде CO_2 , воду и минеральные соли. К ним относятся некоторые бактерии и все зеленые растения.

В зависимости от того, какой источник энергии автотрофные организмы используют для синтеза органических соединений, их делят на две группы: *фототрофы* и *хемотрофы*. Для фототрофов источником энергии служит свет, а хемотрофы используют энергию, освобождающуюся при окислительно-восстановительных реакциях.

Зеленые растения — фототрофы. При помощи содержащегося в хлоропластах хлорофилла они осуществляют *фотосинтез* — преобразование световой энергии в энергию химических связей. Происходит это следующим образом. Кванты света — фотоны — взаимодействуют с молекулами хлорофилла, в результате чего эти молекулы на очень короткое время переходят в более богатое энергией «возбужденное» состояние. Затем избыточная энергия возбужденных молекул преобразуется в теплоту. Другая ее часть передается ионам водорода, всегда имеющимся в водном растворе вследствие диссоциации воды. Образовавшиеся атомы водорода прочно соединяются с органическими молекулами — переносчиками водорода. Ионы гидроксила OH^- отдают свои электроны другим молекулам и превращаются в свободные радикалы OH . Радикалы OH взаимодействуют друг с другом, в результате чего образуются вода и молекулярный кислород:



Таким образом, *источником молекулярного кислорода, образующегося в процессе фотосинтеза и выделяющегося в атмосферу, является фотолиз — разложение воды под влиянием света*. Кроме фотолиза воды, энергия света используется в световой фазе для синтеза АТФ из АДФ и фосфата без участия кислорода. Это очень эффективный процесс: в хлоропластах образуется в 30 раз больше АТФ, чем в митохондриях тех же растений с участием кислорода. Таким путем накапливается энергия, необходимая для процессов связывания CO_2 . В этих реакциях участвуют молекулы АТФ и атомы водорода, образовавшиеся в процессе фотолиза воды и связанные с молекулами-переносчиками:



Так энергия солнечного света преобразуется в энергию химических связей сложных органических соединений.

Некоторые бактерии, лишенные хлорофилла, тоже способны к синтезу органических соединений, при этом они используют энергию химической реакции неорганических веществ. *Преобразование энергии химических реакций в химическую энергию синтезируемых органических соединений называется хемосинтезом*. К группе автотрофов-хемосинтетиков (хемотрофов) относятся нитрифицирующие бактерии. Некоторые из них используют энергию окисления аммиака в азотистую кислоту, другие — энергию окисления азотистой кислоты в азотную. Известны хемосинтетики, окисляющие двухвалентное железо до трехвалентного или сероводород до серной кислоты. Фиксируя атмосферный азот, переводя нерастворимые минералы в форму, пригодную для усвоения растениями, хемосинтезирующие бактерии играют важную роль в круговороте веществ в природе.

Организмы, не способные сами синтезировать органические соединения из неорганических, нуждаются в поступлении их из окружающей среды. Такие организмы называются *гетеротрофными*. К ним относятся большинство бактерий, грибы и все животные.



Вопросы для повторения и задания

1. Что такое диссимилиация? Перечислите ее этапы.
2. В чем заключается роль АТФ в обмене веществ в клетке?
3. В каких структурах клетки осуществляется синтез АТФ?

4. Опишите известные вам типы питания организмов.
5. Какие организмы называются автотрофными? На какие группы делятся автотрофные организмы?
6. Почему в результате фотосинтеза у зеленых растений в атмосферу выделяется свободный кислород?
7. Что такое хемосинтез?
8. Какие организмы называют гетеротрофными? Приведите примеры.

Подумайте

Почему фотосинтез относят к пластическому обмену?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

Глава

11

Строение и функции клеток

Различные структуры живой клетки, выполняющие ту или иную функцию, получили название *органойдов* или *органелл*, подобно органам целого организма. По строению клетки биологи делят все живые существа на «безъядерные» организмы — *прокариоты* (буквально — доядерные) и «ядерные» — *эукариоты*. В группу прокариот попали все бактерии и синезеленые водоросли (цианеи), а в группу эукариот — грибы, растения и животные.

Таким образом, в настоящее время выделяют два уровня клеточной организации и соответственно два крупных типа клеток: *прокариотический* и *эукариотический*.

Прокариотические организмы сохраняют черты глубочайшей древности: они очень просто устроены. На этом основании их выделяют в самостоятельное царство.

Клетки эукариот содержат ограниченное оболочкой ядро, а также сложно устроенные «энергетические станции» — митохондрии; в растительных клетках, кроме того, имеются и пластиды. Иными словами, все клетки «ядерных» организмов высоко организованы, приспособлены к потреблению кислорода и поэтому могут производить большое количество энергии.

25. Прокариотическая клетка

Вспомните!

- Клеточная мембрана • Клеточная стенка • Спорообразование
- Дыхание • Брожение • Фотосинтез

Пример типичных прокариотических клеток являют собой бактерии. Они живут повсюду: в воде, в почве, в пищевых продуктах.

Схема строения клетки бактерий представлена на рисунке 64.

Размеры бактериальных клеток от 1 до 10—15 мкм. По форме выделяют шаровидные клетки (*кокки*), вытянутые (*палочки*, или *бациллы*) и извитые (*спириллы*) (рис. 65). Некоторые их виды живут по отдельности, другие образуют скопления.

Бактерии могут существовать только в аэробных или только в анаэробных условиях, или и в тех и в других. Необходимую энергию они получают в процессе дыхания, брожения или фотосинтеза. Многие бактерии паразитируют в организме животных или растений, вызывая у них заболевания.

Основная особенность строения бактерий — отсутствие ядра. Наследственная информация у них заключена в одной кольцевой молекуле ДНК, имеющей форму кольца и погруженной в цитоплазму. ДНК у бактерий не образует комплексов с белками, и поэтому все гены, входящие в состав хромосомы, «работают», т. е. с них непрерывно считывается наследственная информация. Бактериальная клетка окружена мембраной, отделяющей цитоплазму от клеточной стенки. В цитоплазме мембран мало. В ней находятся рибосомы, осуществляющие синтез белков.

Ферменты, обеспечивающие процессы жизнедеятельности бактерий, рассеяны по цитоплазме или прикреплены к внутренней поверхности мембраны.

У многих микроорганизмов внутри клетки откладываются запасные вещества — полисахариды, жиры, полифосфаты. Эти ве-

Рис. 64. Строение прокариотической клетки:
 1 — клеточная стенка, 2 — наружная цитоплазматическая мембрана, 3 — хромосома (кольцевая молекула ДНК), 4 — впячивание наружной цитоплазматической мембраны, 5 — вакуоли, 6 — мезосома (вырост наружной мембраны), 7 — стопки мембран, в которых осуществляется фотосинтез, 8 — рибосома, 9 — жгутики. Внизу — бактерия сальмонелла (электронная микрофотография)

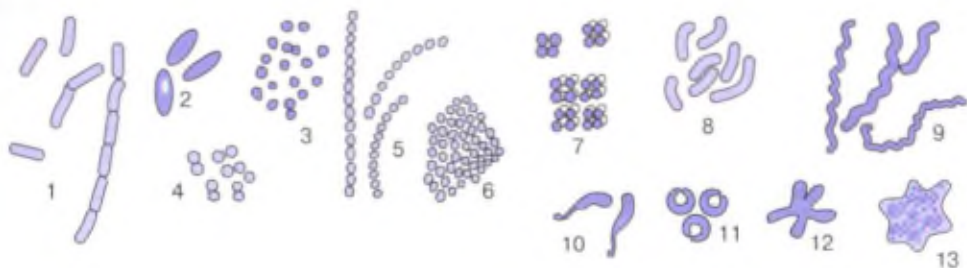
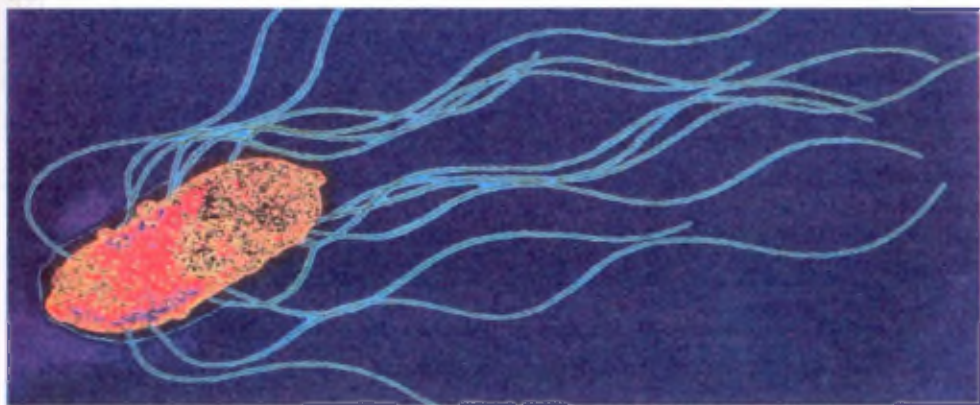
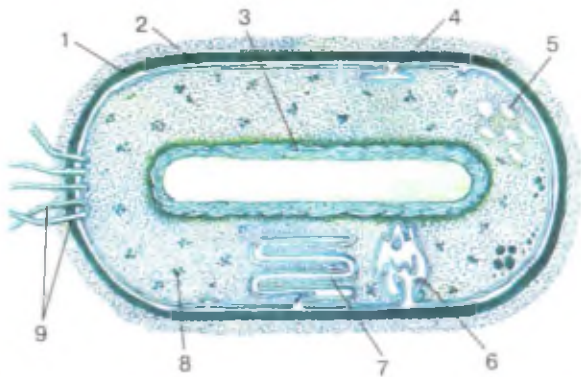


Рис. 65. Формы бактерий: 1 — палочковидные бактерии (палочки, или бациллы), 2 — веретеновидные палочки, 3 — шаровидные бактерии (кокки), 4 — диплококки, 5 — стрептококки, 6 — стафилококки, 7 — сарцины, 8 — вибрионы, 9 — спириллы, 10 — стебельковые бактерии, 11 — тороиды, 12 — звездообразные бактерии, 13 — шестиугольные клетки



Рис. 66. Созревшая спора в бактериальной клетке

щества, включаясь в обменные процессы, могут продлевать жизнь клетки при отсутствии внешних источников энергии.

Обычно бактерии размножаются делением надвое.

Бактериям свойственно спорообразование. Споры возникают, как правило, когда ощущается недостаток в питательных веществах или когда в среде в избытке накапливаются продукты обмена. Спорообразование начинается с отшнуровывания части цитоплазмы от материнской клетки. Отшнуровавшаяся часть содержит хромосому и окружена мембраной и толстой клеточной стенкой (рис. 66).

Споры бактерий очень устойчивы. В сухом состоянии они сохраняют жизнеспособность многие сотни и даже тысячи лет, выдерживая резкие колебания температуры.



Вопросы для повторения и задания

1. По какому признаку все живые организмы делят на две группы — прокариоты и эукариоты? Чем они различаются?
2. Какие организмы относятся к прокариотам?
3. Опишите строение бактериальной клетки.
4. Как размножаются бактерии?
5. В чем сущность и биологический смысл процесса спорообразования у бактерий?



Подумайте

Почему бактерии считают самыми древними обитателями Земли? Ответ обоснуйте.



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

26. Эукариотическая клетка. Цитоплазма

Вспомните!

- Одноклеточные организмы • Многоклеточные организмы
- Клеточная мембрана • Полупроницаемость • Органоиды
- Пиноцитоз • Фагоцитоз

Эукариотические клетки самых разнообразных организмов — от простейших (корненожки, жгутиковые, инфузории и др.) до грибов, высших растений и животных — отличаются и сложностью, и разнообразием строения (рис. 67). Типичной клетки в природе не существует, но у тысяч различных типов клеток можно выделить общие черты строения (рис. 68).

В растительной клетке есть все органоиды, свойственные и животной клетке: ядро, эндоплазматическая сеть, рибосомы, митохондрии, аппарат Гольджи. Вместе с тем она отличается от животной клетки существенными особенностями строения: 1) проч-

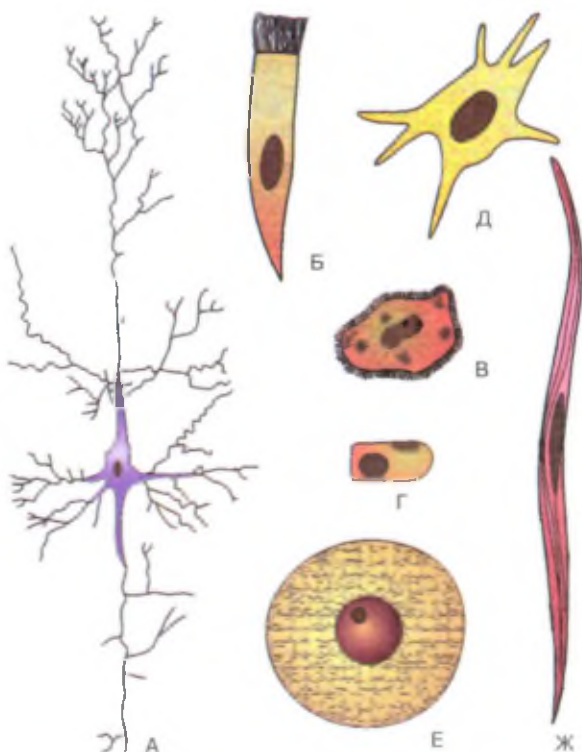


Рис. 67. Форма клеток:

- А — нервная клетка,
- Б—Г — эпителиальные клетки,
- Д — соединительнотканная клетка, Е — яйцеклетка, Ж — мышечная клетка

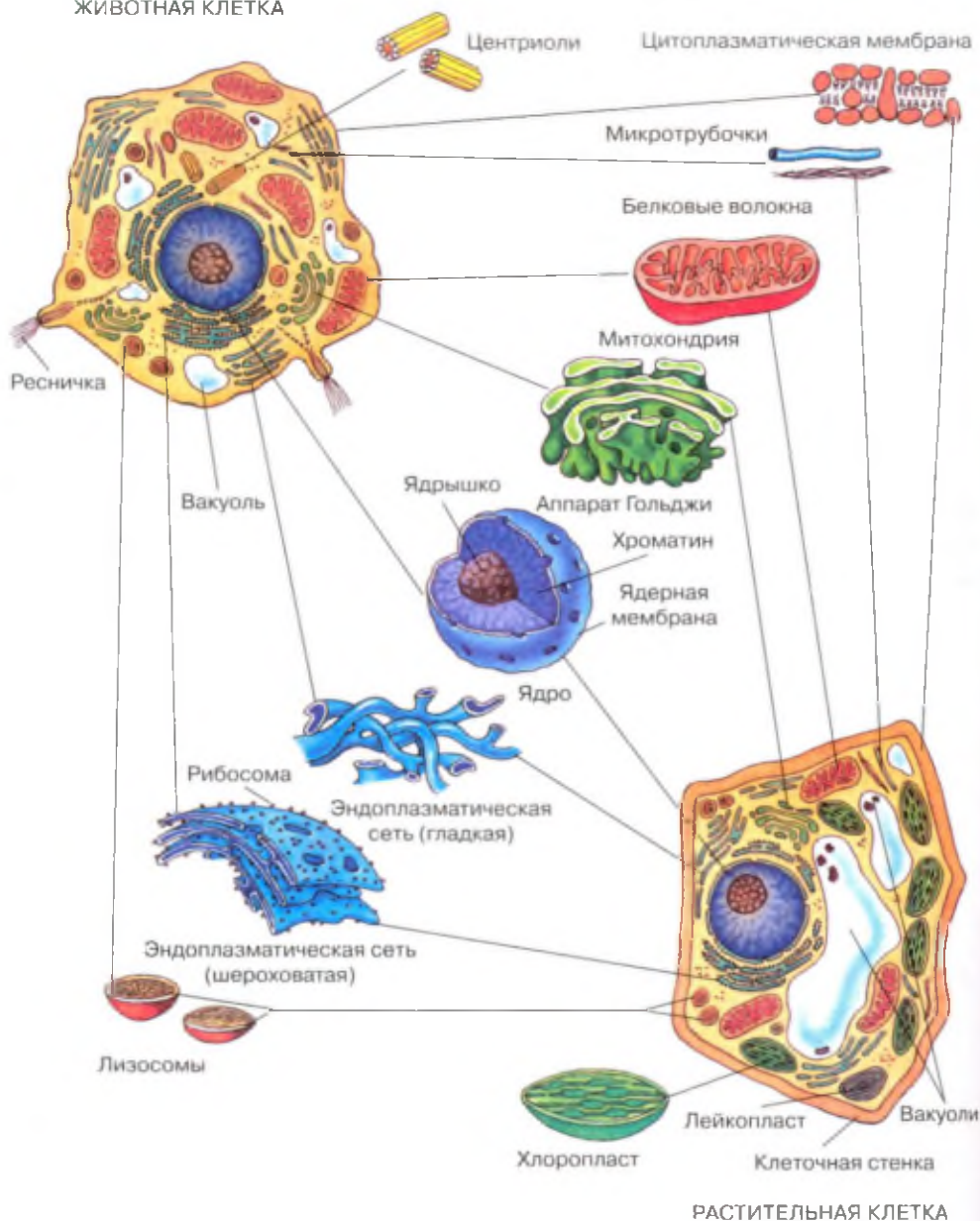


Рис. 68. Схема строения животной и растительной клеток

ной клеточной стенкой значительной толщины; 2) особыми органоидами — *пластидами*, в которых происходит первичный синтез органических веществ из минеральных за счет энергии

света; 3) развитой системой вакуолей, в значительной мере обуславливающих осмотические свойства клеток.

Каждая клетка состоит из двух важнейших, неразрывно связанных между собой частей — цитоплазмы и ядра.

Цитоплазма. В цитоплазме находится целый ряд структур (органелл, или органоидов), каждая из которых отличается особенностями строения и выполняет определенную функцию. Есть органоиды, свойственные всем клеткам, — митохондрии, клеточный центр, аппарат Гольджи, рибосомы, эндоплазматическая сеть, лизосомы. Другие органоиды встречаются только в клетках определенного типа — миофибриллы, реснички и т. д.

В цитоплазме откладываются также различные вещества — их называют *включениями*. Это непостоянные структуры цитоплазмы (а иногда и ядра), которые, в отличие от органоидов, то возникают, то исчезают в процессе жизнедеятельности клетки. Плотные включения называют *гранулами*, жидкие — *вакуолями*. В процессе жизнедеятельности в клетках накапливаются продукты обмена веществ (пигменты, белковые гранулы в секреторных клетках) или запасные питательные вещества (глыбки гликогена, капли жира).

В основе структурной организации клетки лежит *мембранный принцип строения*. Это означает, что клетка в основном построена из мембран сходного строения. Они образованы двумя рядами липидов, в которые на разную глубину с наружной и внутренней стороны погружены многочисленные и разнообразные молекулы белков.

Наружная цитоплазматическая мембрана имеется у всех клеток, она ограничивает содержимое цитоплазмы от внешней среды. Поверхность живой клетки находится в непрерывном движении: на ней возникают выросты и впячивания, она совершает волнообразные колебательные движения, в ней постоянно перемещаются макромолекулы.

Поверхность клетки обладает высокой прочностью и эластичностью, легко и быстро восстанавливает свою целостность при небольших повреждениях. Однако цитоплазматическая мембрана несплошная: она пронизана многочисленными мельчайшими отверстиями — *порами*, через которые с помощью ферментов внутрь клетки могут проникать ионы и мелкие молекулы. К тому же они могут попадать в клетку и непосредственно через мембрану, причем это не пассивная диффузия, а активный избирательный процесс, требующий затрат энергии.

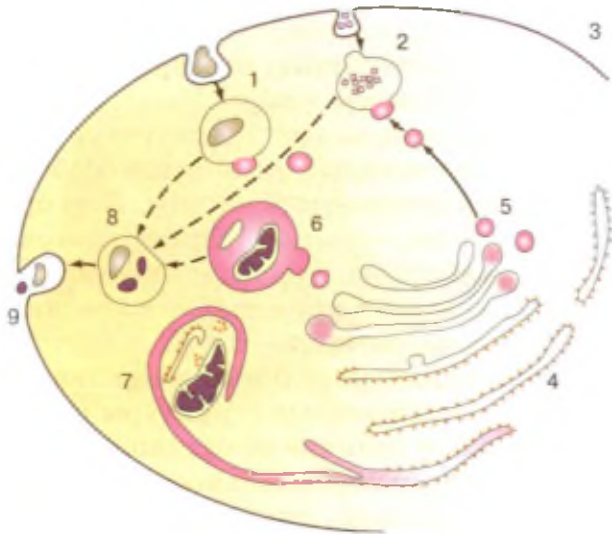


Рис. 69. Схема проникновения веществ в клетку и внутриклеточное пищеварение: 1 — фагоцитоз, 2 — пиноцитоз, 3 — наружная мембрана, 4 — эндоплазматическая сеть, 5 — аппарат Гольджи и лизосомы, 6 — слияние лизосомы с пино- или фагоцитозной вакуолью, 7 — подготовка к перевариванию структуры клетки, 8 — пищеварительная вакуоль, 9 — удаление непереваренных остатков

Клеточная мембрана легко проницаема для одних веществ и непроницаема для других. Так, концентрация ионов K^+ в клетке всегда выше, чем в окружающей среде. Напротив, ионов Na^+ всегда больше в межклеточной жидкости. Избирательная проницаемость клеточной мембраны носит название *полупроницаемости*.

Помимо указанных двух способов, химические соединения и твердые частицы могут проникать в клетку путем пино- и фагоцитоза (рис. 69). Мембрана клеток образует выпячивания, края выпячиваний смыкаются, захватывая межклеточную жидкость (*пиноцитоз*) или твердые частицы (*фагоцитоз*).

Цитоплазматическая мембрана выполняет еще одну функцию — обеспечивает связь между клетками в тканях многоклеточных организмов: во-первых, путем образования многочисленных складок и выростов, во-вторых — за счет выделения клетками плотного цементирующего вещества, заполняющего межклеточное пространство.

Растительная клетка, как и животная, окружена цитоплазматической мембраной, но, кроме того, ограничена толстой, состоящей из целлюлозы *клеточной стенкой*, которой нет у животных. Клеточная стенка имеет поры, через которые каналы эндоплазматической сети соседних клеток сообщаются друг с другом.

Клетки грибов, как и растений, окружены клеточной стенкой, но она образована не целлюлозой, а хитиноподобным веществом.

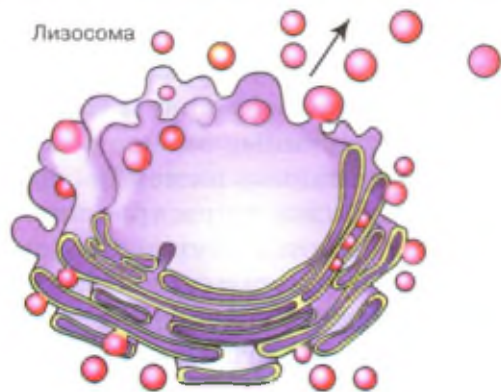


Рис. 70. Образование лизосом в аппарате Гольджи

Эндоплазматическая сеть — это сложная система мембран, пронизывающая цитоплазму всех эукариотических клеток; у прокариот ее нет. Она особенно развита в клетках с интенсивным обменом веществ. В среднем объем эндоплазматической сети составляет от 30 до 50% всего объема клетки. Различают два вида эндоплазматической сети: гладкую и шероховатую. Одной из функций *гладкой эндоплазматической сети* является синтез липидов и углеводов. Особенно обильно гладкая эндоплазматическая сеть представлена в клетках сальных желез (синтез жиров), в клетках печени (синтез гликогена), в клетках, богатых запасными питательными веществами (семена растений).

Основная функция *шероховатой эндоплазматической сети* — синтез белка в рибосомах, покрывающих поверхность уплощенных мембранных мешочков (цистерн) эндоплазматической сети, за что она и получила название шероховатой.

Таким образом, *эндоплазматическая сеть* — общая внутриклеточная циркуляционная система, по каналам которой осуществляется транспорт веществ, а в мембраны этих каналов встроены многочисленные ферменты, обеспечивающие жизнедеятельность клетки.

Рибосомы представляют собой сферические тельца диаметром 15,0—35,0 нм, состоящие из двух частей — субъединиц (см. рис. 61, 62). В рибосомах примерно равное количество белка и РНК. Рибосомальная РНК (рРНК) синтезируется в ядре на молекуле ДНК одной из хромосом в зоне ядрышка. Там же формируются рибосомы, которые затем покидают ядро. В цитоплазме рибосомы могут располагаться свободно или прикрепляться к наружной поверхности мембран эндоплазматической сети. Рибосо-

мы есть во всех клетках, как прокариотических, так и эукариотических.

Основной структурный элемент комплекса (аппарата) Гольджи — гладкая мембрана, которая образует пакеты уплощенных цистерн, крупные вакуоли или мелкие пузырьки (см. рис. 68). Синтезированные на мембранах эндоплазматической сети белки, полисахариды, жиры транспортируются к комплексу Гольджи, конденсируются внутри его структур и «упаковываются» в виде секрета, готового к выделению, либо используются в самой клетке в процессе ее жизнедеятельности.

Лизосомы (от греч. *лизис* — расщепление) — небольшие овальные тельца диаметром около 0,4 мкм, окруженные трехслойной мембраной. Они заполнены пищеварительными ферментами, способными расщеплять различные вещества. Лизосомы образуются из структур комплекса Гольджи (рис. 70) либо непосредственно из эндоплазматической сети. Они приближаются к пиноцитозным или фагоцитозным вакуолям и изливают в их полость свое содержимое (см. рис. 69). Кроме того, лизосомы могут разрушать структуры самой клетки при их старении, в ходе эмбрионального развития, когда происходит замена зародышевых тканей на постоянные (см. с. 162), и в ряде других случаев.

Митохондрии имеются практически во всех типах эукариотических клеток одноклеточных и многоклеточных организмов. Такое распространение митохондрий в животном и растительном мире указывает на важную роль, которую они играют в клетке.

Митохондрии имеют форму сферических, овальных, цилиндрических и даже нитевидных телец. Размеры их составляют от 0,2 до 1 мкм в диаметре и до 7 мкм в длину. Длина нитевидных форм достигает 15—20 мкм. Количество митохондрий в разных тканях неодинаково и зависит от функциональной активности клетки: их больше там, где интенсивнее синтетические процессы (печень) или велики затраты энергии. Так, в грудной мышце у летающих птиц содержание митохондрий значительно выше, чем у нелетающих. Число митохондрий может быстро увеличиваться путем деления, что обусловлено наличием молекулы ДНК в их составе. Стенка митохондрии состоит из двух мембран: наружной и внутренней. Наружная мембрана гладкая, а внутренняя образует складки, или *кристы*. На мембранах крист располагаются многочисленные ферменты, участвующие в энерге-

тическом обмене. Основная функция митохондрий — синтез универсального источника энергии — АТФ.

Пластиды — органоиды растительных клеток. В них происходит первичный синтез углеводов из неорганических веществ. Различают три вида пластид: 1) *лейкопласты* — бесцветные пластиды, в которых из моносахаридов и дисахаридов синтезируется крахмал (есть лейкопласты, запасующие белки или жиры); 2) *хлоропласты* — зеленые пластиды, содержащие пигмент хлорофилл, где осуществляется фотосинтез; 3) *хромопласты*, включающие различные пигменты из группы каротиноидов, обуславливающих яркую окраску цветков и плодов. Пластиды могут превращаться друг в друга. Они содержат ДНК и РНК и размножаются делением надвое.

Вакуоли растительных клеток окружены мембраной и развиваются из цистерн эндоплазматической сети. Вакуоли содержат в растворенном виде белки, углеводы, низкомолекулярные продукты синтеза, витамины, различные соли. Осмотическое давление, создаваемое растворенными в вакуолярном соке веществами, приводит к тому, что в клетку поступает вода, которая обуславливает *тургор* — напряженное состояние клеточной стенки. Это обеспечивает прочность растений к статическим и динамическим нагрузкам.

Клеточный центр состоит из двух очень маленьких телец цилиндрической формы, расположенных под прямым углом друг к другу. Эти тельца называют *центриолями* (см. рис. 68). Стенка центриоли состоит из девяти пучков, каждый из которых образован тремя микротрубочками. Центриоли относятся к самовоспроизводящимся органоидам цитоплазмы. Их воспроизведение, по-видимому, осуществляется путем самосборки из белковых субъединиц. Клеточный центр играет важную роль в клеточном делении: от центриолей начинается рост веретена деления. В растительных клетках центриолей нет, и веретено деления образуется в специальных ферментных центрах.

Цитоскелет. Одной из отличительных особенностей эукариотической клетки является наличие в ее цитоплазме скелетных образований в виде микротрубочек и пучков белковых волокон. Элементы цитоскелета тесно связаны с наружной цитоплазматической мембраной и ядерной оболочкой, образуют сложные переплетения в цитоплазме. Опорные элементы цитоплазмы определяют форму клетки, обеспечивают движение внутриклеточных структур и перемещение всей клетки.



Вопросы для повторения и задания

1. Что такое цитоплазма?
2. Какие органоиды клетки находятся в цитоплазме?
3. Какие органоиды клетки являются самовоспроизводящимися и почему?
4. Что такое включения?
5. В чем различие между пиноцитозом и фагоцитозом?



Подумайте

Приведите доказательства, что клетка представляет собой целостную систему, т. е. такую систему, в которой строение и функции каждой ее части зависят от других частей.



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

27. Эукариотическая клетка. Ядро

Вспомните!

- *Безъядерные клетки*
- *Генетическая информация*
- *Хромосома*
- *ДНК*
- *Ядрышко*

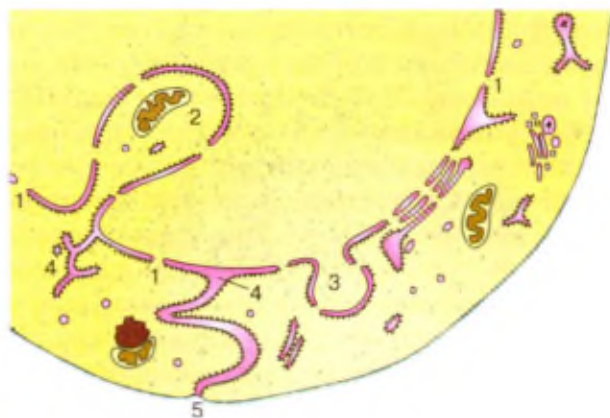
Ядро — важнейшая составная часть клетки грибов, растений и животных. Клеточное ядро содержит ДНК, т. е. гены, и благодаря этому выполняет две главные функции: 1) хранение и воспроизведение генетической информации и 2) регуляцию процессов обмена веществ, протекающих в клетке.

Безъядерная клетка не может долго существовать, и ядро тоже не способно к самостоятельному существованию, поэтому цитоплазма и ядро образуют взаимозависимую систему.

Как правило, клетки содержат одно ядро. Нередко можно наблюдать 2—3 ядра в одной клетке, например в клетках печени. Известны и многоядерные клетки, причем число ядер может достигать нескольких десятков. Форма ядра зависит большей частью от формы клетки, она может быть и совершенно неправильной.

Рис. 71. Возможные пути обмена веществами между ядром и цитоплазмой:

1 — перемещение веществ через поры ядерной оболочки, 2 — впячивание цитоплазмы внутрь ядра, 3 — выпячивание ядерной оболочки в цитоплазму, 4 — продолжение мембран ядерной оболочки в каналы эндоплазматической сети, 5 — часть каналов открывается в окружающую (внеклеточную) среду



Ядро окружено оболочкой, которая состоит из двух мембран. Наружная ядерная мембрана со стороны, обращенной в цитоплазму, покрыта рибосомами, внутренняя мембрана гладкая. Ядерная оболочка — часть мембранной системы клетки. Выросты внешней ядерной мембраны соединяются с каналами эндоплазматической сети, образуя единую систему сообщающихся каналов. Обмен веществ между ядром и цитоплазмой осуществляется двумя основными путями. Во-первых, ядерная оболочка пронизана многочисленными порами, через которые происходит обмен молекулами между ядром и цитоплазмой. Во-вторых, вещества могут попадать из ядра в цитоплазму и обратно путем отшнуровывания впячиваний и выростов ядерной оболочки (рис. 71).

Несмотря на активный обмен между ядром и цитоплазмой, ядерная оболочка отграничивает ядерное содержимое от цитоплазмы, обеспечивая тем самым различия в их химическом составе. Это необходимо для нормального функционирования ядерных структур.

Содержимое ядра представляет собой ядерный сок в гелеобразном состоянии, в котором располагаются хроматин и одно или несколько ядрышек.

В живой клетке *ядерный сок* выглядит бесструктурной массой, заполняющей промежутки между структурами ядра. В состав ядерного сока входят различные белки (в том числе большинство ферментов ядра), свободные нуклеотиды, аминокислоты, а также продукты жизнедеятельности ядрышка и хроматина, транспортируемые затем из ядра в цитоплазму.

Хроматином (от греч. *хрома* — окраска, цвет) называют глыбки, гранулы и сетевидные структуры ядра, интенсивно окрашивающиеся некоторыми красителями и отличающиеся по форме от ядрышка. Хроматин состоит из ДНК и белков и представляет собой спирализованные и уплотненные участки *хромосом*. Спирализованные участки хромосом в генетическом отношении неактивны. Свою специфическую функцию — передачу генетической информации — могут осуществлять только деспирализованные — раскрученные участки хромосом, которые в силу своей малой толщины не видны в световой микроскоп. В делящихся клетках все хромосомы сильно спирализуются, укорачиваются и приобретают компактные размеры и форму.

Форма хромосом зависит от положения так называемой первичной перетяжки, или *центромеры*, — области, к которой во время деления клетки (митоза) прикрепляются нити веретена деления. Центромера делит хромосому на два плеча, которые могут быть одинаковой или разной длины (рис. 72).

Изучение хромосом позволило установить следующие факты.

1. Во всех соматических клетках любого растительного или животного организма число хромосом одинаково.

2. Половые клетки любого вида организмов всегда содержат вдвое меньше хромосом, чем соматические клетки.

3. У всех организмов, относящихся к одному виду, количество хромосом в клетках одинаково.

Число хромосом не зависит от уровня организации вида и не всегда указывает на его родственные связи: количество их может быть одинаковым у представителей очень далеких друг от друга систематических групп — и может сильно различаться у близких по происхождению видов. Например, у таких разных организмов, как шимпанзе, таракан и перец, диплоидное число хромосом одинаково и равно 48; у человека — 46 хромосом, а у гораздо проще устроенного сазана — 104! Таким образом, характеристика хромосомного набора в целом видоспецифична, т. е. свойственна только одному какому-то виду организмов растений или животных.

Совокупность количественных (число и размеры) и качественных (форма) признаков хромосомного набора соматической клетки называют *кариотипом* (рис. 73).

Число хромосом в кариотипе большинства видов живых организмов четное. Это объясняется тем, что в каждой соматической клетке находятся две одинаковые по форме и размеру хромосомы: одна — из отцовского организма, вторая — из материнского.



Рис. 72. Общий вид спирализованной хромосомы

Рис. 73. Хромосомы организмов разных видов: 1 — мухомор, 2 — липа, 3, 4 — дрозофила, 5 — семга, 6 — растение из семейства ароидных, 7 — соранча, 8 — бабочка-хохлатка, 9 — растение из семейства сложноцветных, 10 — цветочный клоп, 11 — водоемка, 12, 13 — зеленые водоросли, 14 — амбистома, 15 — алоэ



Хромосомы, одинаковые по форме и размеру и несущие одинаковые гены, называют *гомологичными*. Хромосомный набор соматической клетки, в которой каждая хромосома имеет себе пару, носит название *двойного* (или *диплоидного*) и обозначается $2n$. Из каждой пары гомологичных хромосом в половые клетки попадает только одна хромосома, поэтому хромосомный набор гамет называют *одинарным* (или *гаплоидным*) и обозначают $1n$.

После завершения деления клетки хромосомы деспирализуются, и в ядрах образовавшихся дочерних клеток снова становятся видимыми только тонкая сеточка и глыбки хроматина.

Третья характерная для ядра клетки структура — *ядрышко*. Оно представляет собой плотное тельце, погруженное в ядерный сок (см. рис. 68). Ядрышки есть только в неделящихся ядрах, во время митоза они исчезают, а после завершения деления возникают вновь.

Ядрышко не является самостоятельной структурой ядра. Оно образуется вокруг участка хромосомы, в котором закодирована структура рибосомальной РНК (рРНК). В нем содержится боль-

шое число молекул рРНК. Кроме накопления рРНК, в ядрышке происходит формирование рибосом, которые потом перемещаются в цитоплазму. Таким образом, *ядрышко — это скопление рРНК и рибосом на разных этапах формирования.*



Вопросы для повторения и задания

1. Опишите строение ядра эукариотической клетки.
2. Что такое ядрышко?
3. Что такое хроматин? Опишите строение и состав хромосомы.
4. Как соотносится число хромосом в соматических и половых клетках?
5. Какие хромосомы называют гомологичными?
6. Что такое кариотип? Дайте определение.
7. Вспомните строение хромосомы бактерий. Чем она отличается от хромосомы эукариот?



Подумайте

Почему ядро является важнейшей частью клетки? Ответ обоснуйте.



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

28. Деление клеток

Вспомните!

- *Рост и развитие* • *Генетическая информация* • *Биосинтез*
- *Хроматиды* • *Веретено деления* • *Центриоли*

Жизненный цикл клетки. Митотический цикл клетки. В многоклеточном организме клетки специализированы, т. е. имеют строго определенные строение и функции. В соответствии со специализацией клетки обладают разной продолжительностью жизни. Например, нервные и мышечные клетки после завершения эмбрионального периода развития перестают делиться и функционируют на протяжении всей жизни организма. Другие —

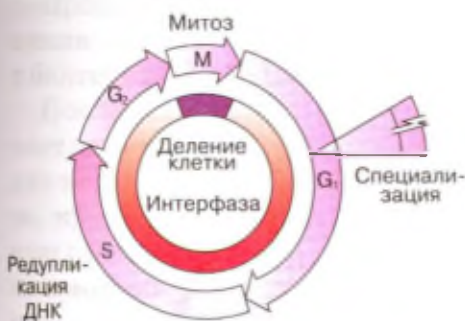
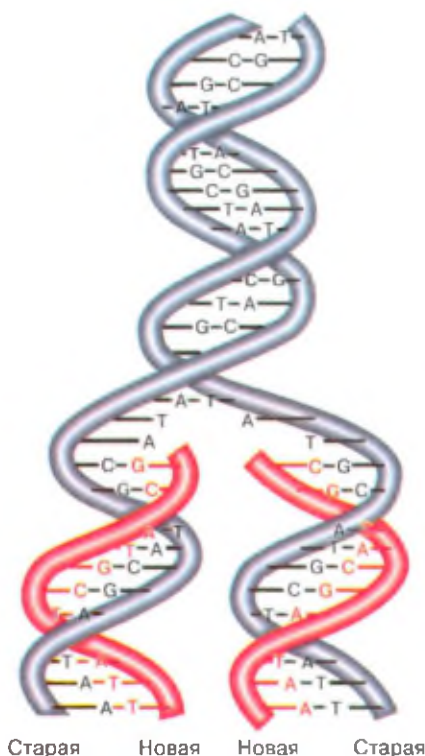


Рис. 74. Митотический цикл клетки

Рис. 75. Схема редупликации ДНК: двойная спираль молекулы ДНК расплетается, и рядом со старой цепочкой нуклеотидов синтезируется новая; формируются новые двойные молекулы ДНК



клетки костного мозга, эпидермиса, эпителия тонкого кишечника — в процессе осуществления своей специфической функции быстро погибают, и поэтому в этих тканях клетки непрерывно размножаются.

Промежуток времени от момента возникновения клетки в результате деления до ее гибели или до следующего деления представляет собой жизненный цикл клетки. В это время клетка растет, специализируется и выполняет свои функции в составе ткани и органов. В тех тканях, где клетки непрерывно делятся (костный мозг, эпителий кишки и др.), у части из них жизненный цикл совпадает с митотическим циклом.

Митотическим циклом называют совокупность последовательных и взаимосвязанных процессов в период подготовки клетки к делению, а также на протяжении самого митоза (рис. 74).

Синтез ДНК. Из рисунка 73 видно, что после завершения митоза клетка может вступить в период подготовки к синтезу ДНК (G_1). В это время в клетке усиленно образуются РНК и белки,

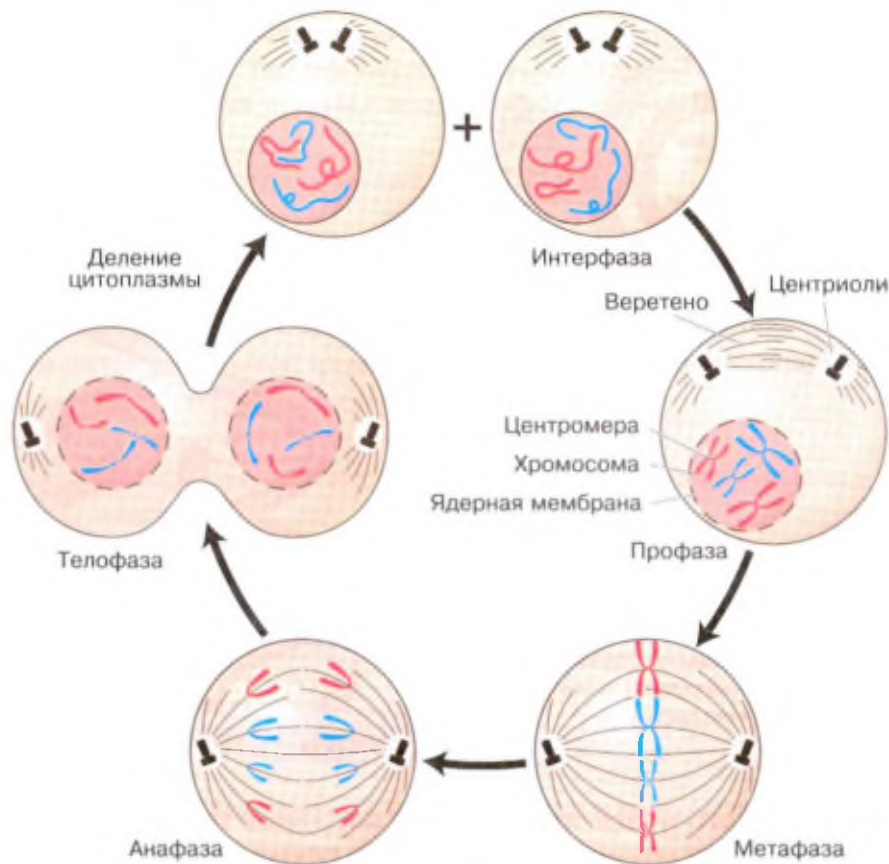


Рис. 76. Схема митотического деления клетки

повышается активность ферментов, участвующих в биосинтезе. Затем клетка приступает к синтезу ДНК или ее редупликации — удвоению. Две спирали старой молекулы ДНК расходятся, и каждая становится матрицей для воспроизводства новых цепей ДНК (рис. 75). Каждая из двух дочерних молекул включает одну старую спираль и одну новую. Удвоение молекул ДНК происходит с удивительной точностью: новая молекула абсолютно идентична старой. В этом заключается глубокий биологический смысл, потому что нарушение структуры ДНК, приводящее к искажению генетического кода, сделало бы невозможным сохранение и передачу по наследству генетической информации, обеспечивающей развитие присущих организму признаков.

Продолжительность синтеза ДНК — *S*-фазы митотического цикла — в разных клетках неодинакова: от нескольких минут у бактерий до 6—12 ч в клетках млекопитающих.

После завершения *S*-фазы клетка, как правило, не сразу начинает делиться (см. рис. 73). По окончании синтеза ДНК происходит подготовка клетки к митозу (G_2). Для осуществления митоза, кроме удвоения ДНК, необходимы и другие подготовительные процессы, в том числе удвоение центриолей, синтез белков, из которых строится веретено деления, завершение роста клетки.

Митоз состоит из четырех фаз: профазы, метафазы, анафазы, телофазы (рис. 76, 77).

В *профазе* увеличивается объем ядра, хромосомы, спирализуясь, становятся видимыми, центриоли расходятся к полюсам клетки. В результате спирализации хромосом считывание генетической информации с ДНК становится невозможным, и синтез РНК прекращается. Между полюсами протягиваются нити *ахро-матинового веретена* — формируется аппарат, обеспечивающий расхождение хромосом к полюсам клетки. В конце профазы ядерная оболочка исчезает. На протяжении профазы продолжается спирализация хромосом, которые утолщаются и укорачиваются.

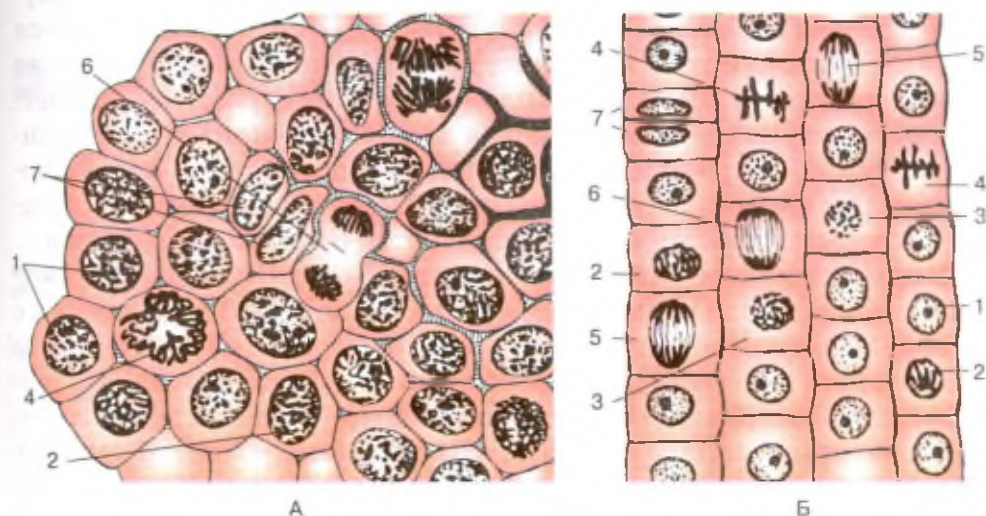


Рис. 77. Митоз:

А — в клетках кожи тритона, Б — в клетках корешка лука. Видны клетки, находящиеся в стадии: 1 — интерфазы, 2 — профазы, 3, 4 — метафазы, 5, 6 — ранней и поздней анафазы, 7 — телофазы

После распада ядерной оболочки хромосомы свободно и беспорядочно лежат в цитоплазме.

В *метафазе* спирализация хромосом достигает максимума; укороченные хромосомы устремляются к экватору клетки, располагаясь на равном расстоянии от полюсов. Центромерные участки хромосом располагаются строго в одной плоскости, а сами хромосомы состоят из двух сестринских хроматид, соединенных только в области центромеры и обращенных к противоположным полюсам клетки. Митотическое веретено уже полностью сформировано и имеет вид нитей, соединяющих полюса с центромерами хромосом.

В *анафазе* центромера каждой из хромосом разделяется, и с этого момента хроматиды становятся самостоятельными дочерними хромосомами. Нити веретена, прикрепленные к центромерам, тянут хромосомы к полюсам клетки, а плечи хромосом при этом пассивно следуют за центромерой. Таким образом, в анафазе хроматиды удвоенных еще в интерфазе хромосом становятся самостоятельными хромосомами и точно расходятся к полюсам клетки. В этот момент в клетке находятся два диплоидных набора хромосом.

Завершается митоз *телофазой*. Хромосомы, собравшиеся у полюсов, деспирализуются и становятся плохо видимыми. Из мембранных структур эндоплазматической сети цитоплазмы образуется ядерная оболочка. В клетках животных цитоплазма делится путем перетяжки тела клетки на две меньших размеров, каждая из которых содержит один диплоидный набор хромосом. В клетках растений цитоплазматическая мембрана возникает в середине клетки и распространяется к периферии, разделяя клетку пополам. После образования поперечной цитоплазматической мембраны у растительных клеток появляется целлюлозная стенка.

В митотическом цикле клетки митоз — относительно короткая стадия, продолжающаяся обычно от 0,5 до 3 ч. Начиная с первого митотического деления оплодотворенной яйцеклетки (зиготы) все дочерние клетки, образовавшиеся в результате митоза, содержат одинаковый набор хромосом и одни и те же гены. Следовательно, *митоз — это способ деления клеток, заключающийся в точном распределении генетического материала между дочерними клетками*. В результате митоза обе дочерние клетки получают диплоидный набор хромосом.

Биологическое значение митоза огромно. Постоянство строения и правильность функционирования органов и тканей мно-

клеточного организма были бы невозможны без сохранения одинакового набора генетического материала в бесчисленных клеточных поколениях. Митоз обеспечивает такие важные моменты жизнедеятельности, как эмбриональное развитие, рост, восстановление органов и тканей после повреждения, поддержание структурной целостности тканей при постоянной утрате клеток в процессе их функционирования (замещение погибших эритроцитов, слущивающихся клеток кожи, эпителия кишечника и пр.).

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое жизненный цикл клетки?
2. Дайте определение митотического цикла клетки.
3. В чем смысл удвоения молекул ДНК?
4. В чем заключается подготовка клетки к митозу?
5. Последовательно опишите фазы митоза. В чем его биологическое значение?

Подумайте

Почему в клетках растений и в клетках животных деление цитоплазмы происходит по-разному?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

29. Клеточная теория строения организмов

Вспомните!

• Теория • Гипотеза • Постулат • Аксиома • Неклеточные формы жизни

Как вам уже известно, клетка служит основой строения всех живых организмов: растений, животных, грибов и микроорганизмов. Для прокариот и простейших, низших грибов и некоторых водорослей понятия «клетка» и «организм» совпадают. Можно

сказать, что клетка — это элементарная биологическая система, способная к самообновлению, самовоспроизведению и развитию.

Такое представление о клетке установилось в науке не сразу. Сама клетка (точнее, клеточная оболочка) была открыта в XVII в. английским физиком Р. Гуком. Рассматривая под микроскопом срез пробки, Гук обнаружил, что она состоит из ячеек, разделенных перегородками. Эти ячейки он назвал клетками. Долгое время главной частью клетки считали ее оболочку. Лишь в XIX в. ученые обратили внимание на полужидкое студенистое содержимое, заполняющее клетку. В 1831 г. английский ботаник Б. Броун обнаружил в клетках ядро. Это открытие послужило важной предпосылкой для установления сходства между клетками растений и животных. Ботаник М. Шлейден доказал, что ядро есть в любой растительной клетке.

В конце 30-х гг. XIX в. зоолог Т. Шванн, обобщив накопленные сведения о строении живых организмов, пришел к заключению, что клетка — их главная структурная единица и что именно образование клеток обуславливает рост и развитие живых тканей.

Клеточная теория строения была сформулирована и опубликована Т. Шванном в 1839 г. Она сыграла огромную роль в развитии биологии. Исчезла казавшаяся непроходимой пропасть между царством растений и царством животных. Провозглашая единство живого мира, клеточная теория послужила одной из предпосылок возникновения теории эволюции Ч. Дарвина.

Позднее клеточная теория была развита многими учеными. Немецкий врач Р. Вирхов доказал, что вне клеток нет жизни, что главная составная часть клетки — ядро и что клетки образуются только от клеток. Дальнейшее совершенствование микроскопической техники, создание электронного микроскопа и появление методов молекулярной биологии позволили глубже проникнуть в тайны клетки, познать ее сложную структуру и многообразие протекающих в ней биохимических процессов.

В настоящее время основные положения клеточной теории можно сформулировать следующим образом:

- 1) клетка является структурно-функциональной единицей, а также единицей развития всех живых организмов;
- 2) все клетки имеют сходное строение, химический состав и общие принципы жизнедеятельности;
- 3) клетки образуются только делением предшествующих им клеток;

4) клеточное строение организмов — свидетельство того, что все живое имеет единое происхождение.

Неклеточные формы жизни — вирусы и бактериофаги — устроены проще, чем клетки даже самых примитивных бактерий. Их организацию вы изучили в 7 классе.

Вопросы для повторения и задания

1. Расскажите историю открытия клетки.
2. Кем и когда впервые была сформулирована клеточная теория?
3. Изложите основные положения клеточной теории.

Подумайте

Почему создание клеточной теории зависело от развития и совершенствования техники?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.





Раздел



Размножение и индивидуальное развитие организмов

Способность к размножению, или самовоспроизведению, — одна из важнейших характеристик органической природы. Размножение — свойство, присущее всем без исключения живым организмам, от бактерий до млекопитающих.

Существование любого вида животных и растений, бактерий и грибов, преемственность между родительскими

особями и их потомством поддерживаются только благодаря размножению. Способы размножения у различных организмов могут очень сильно отличаться друг от друга, но в основе любого размножения лежит деление клетки.

Тесно связано с самовоспроизведением и другое свойство живых организмов — развитие. Оно также присуще всему живому на Земле: и мельчайшим одноклеточным организмам, и многоклеточным растениям, животным и грибам.



12 Размножение организмов

Известны различные формы размножения, но все они могут быть объединены в два типа: половое и бесполое.

Половым размножением называют смену поколений и развитие организмов из специализированных — *половых* — клеток, образующихся в половых железах. При этом новый организм развивается в результате слияния двух половых клеток, образованных разными родителями. Однако у беспозвоночных животных нередко сперматозоиды и яйцеклетки формируются в теле одного организма. Такое явление — *обоеполость* — называют *гермафродитизмом*. Цветковые растения также бывают обоеполами. У большинства видов покрытосеменных (цветковых) растений обоеполюй цветок включает и тычинки, образующие мужские половые клетки — спермии, и пестики, содержащие яйцеклетки. Примерно у четвертой части видов мужские (тычиночные) и женские (пестичные) цветки развиваются независимо, т. е. у них цветки однополые. Примером может служить конопля. У некоторых растений — кукурузы, березы — и мужские и женские цветки возникают на одной особи.

У некоторых видов животных и растений наблюдается развитие из неоплодотворенной яйцеклетки. Такое размножение называют *девственным* или *партеногенетическим*.

Бесполое размножение характеризуется тем, что новая особь развивается из неполовых, соматических (телесных) клеток.

Рассмотрим подробнее оба типа размножения.

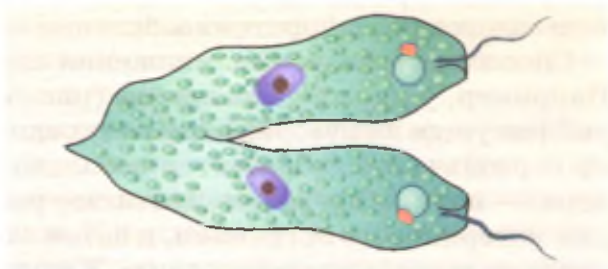
30. Бесполое размножение

Вспомните!

- Митоз
- Спора
- Почкование
- Регенерация
- Вегетативное размножение

При бесполом размножении новый организм может возникнуть из одной клетки или из нескольких неполовых (соматических)

Рис. 78. Размножение эвглены зеленой



клеток материнской особи. В размножении участвует только одна родительская особь. Поскольку клетки, дающие начало дочерним организмам, возникают в результате митоза, то все потомки сходны по наследственным признакам с материнской особью.

Многие простейшие (амебы, эвглена зеленая и др.), одноклеточные водоросли (хламидомонада) размножаются путем *митотического деления клетки* (рис. 78). Другим одноклеточным — некоторым низшим грибам, водорослям (хлорелла), животным (малярийный плазмодий) свойственно *спорообразование*. При этом клетка распадается на большое число особей, равное количеству ядер, заранее образованных в ней в результате многократного деления ее ядра. Многоклеточные организмы также способ-

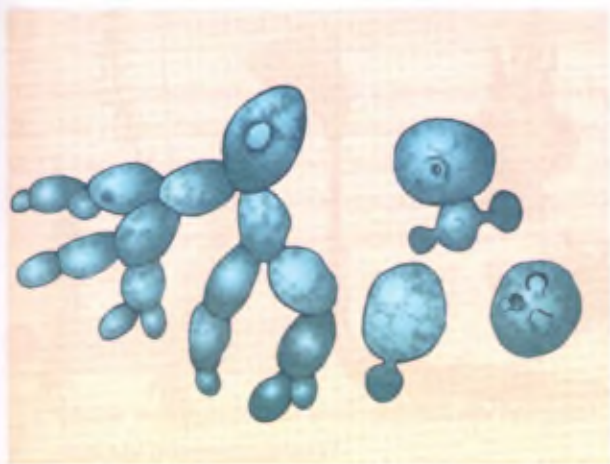


Рис. 79. Почкование дрожжевых грибов

Рис. 80. Почкование у кишечнополостных: на теле материнского организма образуется самостоятельный организм



ны к спорообразованию: это мхи, высшие грибы, многоклеточные водоросли, папоротникообразные и некоторые другие.

Способом бесполого размножения служит также *почкование*. Например, у дрожжевых грибов (рис. 79) и некоторых инфузорий (сосущие инфузории) при почковании на материнской клетке первоначально образуется небольшой бугорок, содержащий ядро, — почка. Она растет, достигает размеров, близких к размерам материнского организма, и затем отделяется, переходя к самостоятельному существованию. У многоклеточных (пресноводная гидра) почка состоит из группы клеток обоих слоев стенки тела. Почка растет, удлиняется, на переднем ее конце появляется ротовое отверстие, окруженное щупальцами. Образуется маленькая гидра, которая затем отделяется от материнского организма (рис. 80).



Рис. 81. Вегетативное размножение растений: 1 — вегетативное размножение земляники надземными ползучими побегами, 2 — подземные клубни картофеля (темный клубень — старый, из которого выросло все растение), 3 — молодило картофеля — размножается откidyшами, 4 — луковички в соцветии дикого лука, 5 — луковички «детки» в луковиче, 6 — корневище осоки, 7 — корневище ириса (касатика), 8 — элодея, размножающаяся частями побегов

У других многоклеточных животных существует бесполое размножение путем фрагментации тела на отдельные части (медузы, кольчатые черви, плоские черви, иглокожие). Из каждой такой части развивается полноценная особь.

У растений широко распространено *вегетативное размножение*, т. е. частями тела — черенками, усами, клубнями (рис. 81). Так, картофель размножается видоизмененными подземными частями стебля — клубнями. У жасмина, ивы легко укореняются побеги — черенки. С помощью черенков размножают виноград, смородину, крыжовник.

Длинные ползучие стебли земляники — усы — образуют почки, которые, укореняясь, дают начало новому растению. Немногие растения, например бегония, могут размножаться листовыми черенками (листовая пластинка и черешок). На нижней стороне листа, в местах разветвления крупных жилок, возникают корни, на верхней — почки, а затем побеги.

Для вегетативного размножения используют также корень. В садоводстве с помощью черенков из боковых корней размножают малину, вишню, сливу, розу. С помощью корневых клубней размножаются георгины. Видоизменение подземной части стебля — корневище — также образует новые растения. Например, осот с помощью корневища может дать более тысячи новых особей на 1 м² почвы.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие основные способы размножения вам известны?
2. Что такое бесполое размножение? Какой процесс лежит в его основе?
3. У каких организмов встречается бесполое размножение?
4. Какие формы бесполого размножения вам известны? Приведите примеры.
5. Почему при бесполом размножении потомки генетически сходны между собой и с родительской особью?

Подумайте

Какое значение для выживания организмов имеет их способность к бесполому размножению?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

31. Половое размножение.

Развитие половых клеток

Вспомните!

- Сперматозоид • Яйцеклетка • Ген • Генотип • Гамета • Мейоз
- Желток • ДНК • РНК • Хромосома

Половое размножение имеет большие эволюционные преимущества по сравнению с бесполом. Генотип потомков возникает путем объединения генов от обоих родителей, в результате повышаются возможности организмов в приспособлении к условиям среды. Так как новые комбинации осуществляются в каждом поколении, приспособленными к новым условиям существования может оказаться гораздо больше особей, чем при бесполом размножении. Появление новых комбинаций генов обеспечивает более успешное и быстрое приспособление вида к меняющимся условиям обитания.

Таким образом, сущность полового размножения заключается в объединении в наследственном материале потомка генетической информации из двух разных источников — родителей.

В половых железах развиваются половые клетки: мужские — *сперматозоиды*, женские — *яйцеклетки* (или *яйца*). В первом случае их развитие называют *сперматогенезом*, во втором — *оогенезом* (от лат. *ово* — яйцо).

В процессе образования половых клеток выделяют ряд стадий. Первая стадия — *период размножения*, в котором первичные половые клетки делятся путем митоза, в результате чего увеличивается их количество.

Вторая стадия — *период роста*. У незрелых мужских гамет он выражен нерезко. Их размеры увеличиваются незначительно. Напротив, будущие яйцеклетки — *ооциты* — увеличиваются в размерах иногда в сотни, а чаще в тысячи и даже миллионы раз. Рост ооцитов осуществляется за счет веществ, образуемых другими клетками организма. Так, у рыб, амфибий и в большей степени у рептилий и птиц основную массу яйца составляет желток. Он синтезируется в печени, в особой растворимой форме переносится кровью в яичник, проникает в растущие ооциты и откладывается там в виде желточных пластинок. Кроме того, в самой будущей половой клетке синтезируются многочисленные белки и большое количество разнообразных РНК: транспортных, рибо-

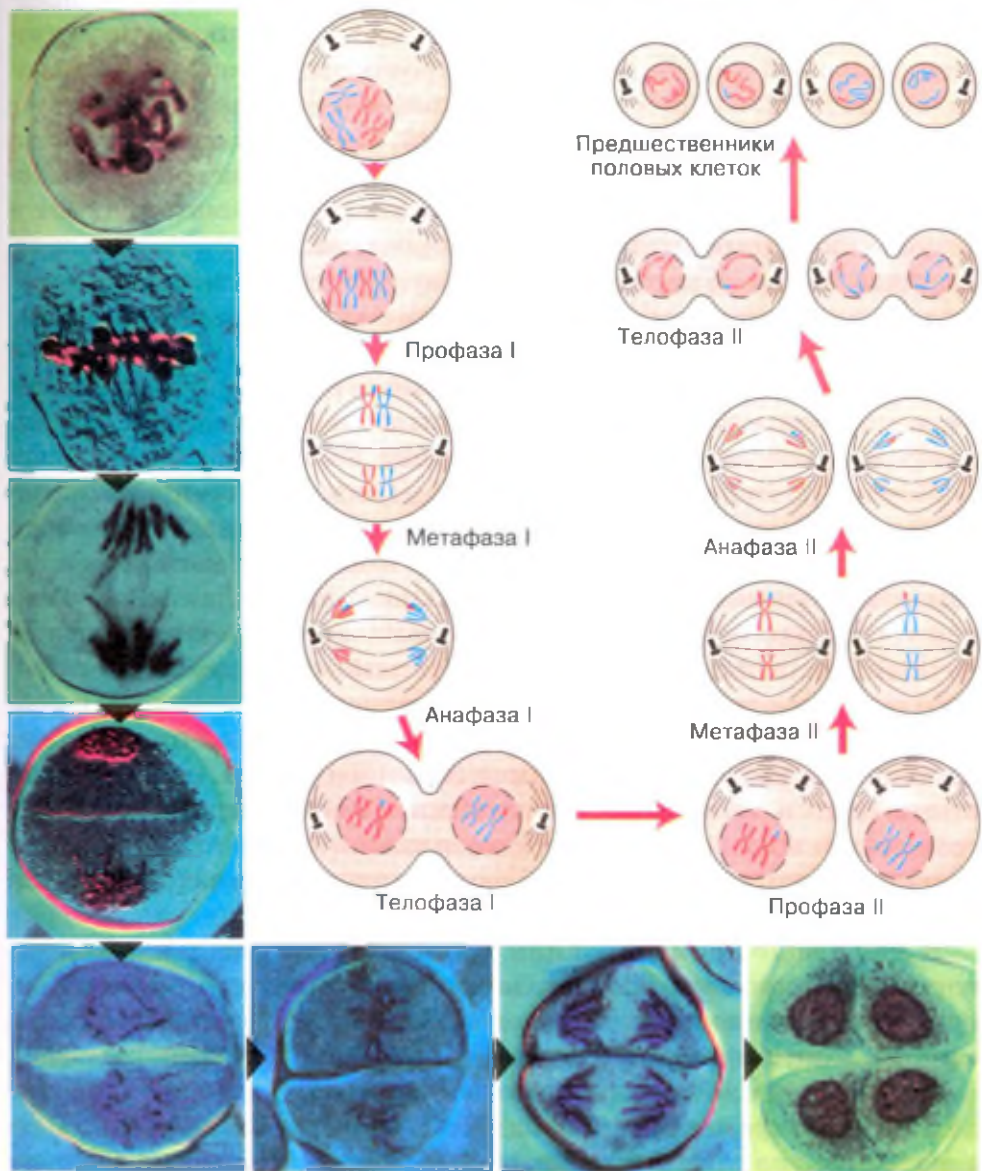


Рис. 82. Стадия созревания половых клеток (мейоз) в процессе сперматогенеза

сомных и информационных. Желток — совокупность питательных веществ (жиров, белков, углеводов и др.), необходимых для питания зародыша, а РНК обеспечивает синтез белков на ранней стадии развития, когда собственная наследственная информация еще не используется.

Следующая стадия — *период созревания*, или *мейоз*, — представлена на рисунке 82. Клетки, вступающие в период созревания, содержат диплоидный набор хромосом и уже удвоенное количество ДНК. Сущность мейоза в том, что каждая половая клетка получает одинарный, гаплоидный, набор хромосом. Однако вместе с тем мейоз — это стадия, во время которой создаются новые комбинации генов путем сочетания разных материнских и отцовских хромосом. Перекомбинирование наследственных задатков возникает, кроме того, и в результате *кроссинговера* — обмена участками между гомологичными хромосомами в процессе мейоза.

Мейоз включает два последовательных деления. Как и в митозе, в каждом мейотическом делении выделяют четыре стадии: профазу, метафазу, анафазу и телофазу.

Первое (I) мейотическое деление. *Профаза I* начинается спирализацией хромосом. Как вы помните, каждая хромосома состоит из двух хроматид, соединенных в области центромеры. Затем гомологичные хромосомы сближаются, каждая точка каждой хроматиды одной хромосомы совмещается с соответствующей точкой хроматиды другой, гомологичной хромосомы. Этот процесс точного и тесного сближения гомологичных хромосом в мейозе называют *конъюгацией*. В дальнейшем между ними может произойти кроссинговер — обмен гомологичными, т. е. содержащими одни и те же гены, участками. К концу профазы между гомологичными хромосомами возникают силы отталкивания. Вначале они проявляются в области центромер, а затем в других участках.

В *метафазе I* спирализация хромосом максимальна. Конъюгированные хромосомы располагаются по экватору, причем центромеры гомологичных хромосом обращены к разным полюсам клетки. К ним прикрепляются нити веретена деления.

В *анафазе I* плечи гомологичных хромосом окончательно разделяются, и хромосомы расходятся к различным полюсам. Следовательно, из каждой пары гомологичных хромосом в дочернюю клетку попадает только одна. Число хромосом уменьшается в два раза, хромосомный набор становится гаплоидным. Однако каждая хромосома состоит из двух хроматид, т. е. по-прежнему содержит удвоенное количество ДНК.

В *телофазе I* временно образуется ядерная оболочка. Во время интерфазы между первым и вторым делениями мейоза редупликации ДНК не происходит. Клетки, образовавшиеся в резуль-

тате первого деления созревания, различаются по составу отцовских и материнских хромосом и, следовательно, по набору генов.

Например, все клетки человека, в том числе первичные половые клетки, содержат 46 хромосом. Из них 23 получены от отца и 23 — от матери. При образовании половых клеток после первого мейотического деления в сперматоциты и овоциты также попадает по 23 хромосомы. Однако вследствие случайности расхождения отцовских и материнских хромосом в анафазе I образующиеся клетки получают различные комбинации родительских хромосом. Например, в одной из них может оказаться 3 отцовских и 20 материнских хромосом, в другой — 10 отцовских и 13 материнских и т. д. Число возможных комбинаций очень велико. Учитывая обмен гомологичными участками хромосом в профазе первого деления мейоза, очевидно, что каждая образующаяся половая клетка генетически уникальна, так как несет неповторимый набор генов.

Следовательно, *мейоз — основа комбинативной генотипической изменчивости.*

Второе (II) мейотическое деление. Второе деление мейоза в общем протекает так же, как обычное митотическое деление, с той лишь разницей, что делящаяся клетка гаплоидна. В *анафазе II* центромеры, соединяющие сестринские хроматиды в каждой хромосоме, делятся, и хроматиды, как и в митозе, с этого момента становятся самостоятельными хромосомами. С завершением *телофазы II* заканчивается и весь процесс мейоза: из исходной первичной половой клетки образовались четыре гаплоидные клетки.

У особей мужского пола все они преобразуются в гаметы — сперматозоиды. У особей женского пола вследствие неравномерного мейоза лишь из одной клетки получается жизнеспособное яйцо. Три другие дочерние клетки гораздо мельче, они превращаются в так называемые *направительные*, или *редукционные, тельца*, которые вскоре погибают. Образование только одной яйцеклетки и гибель трех генетически полноценных направительных телец с биологической точки зрения обусловлено необходимостью сохранения в одной клетке всех запасных питательных веществ, которые понадобятся для развития будущего зародыша.

Период формирования состоит в приобретении клетками определенной формы и размеров, соответствующих их функции.

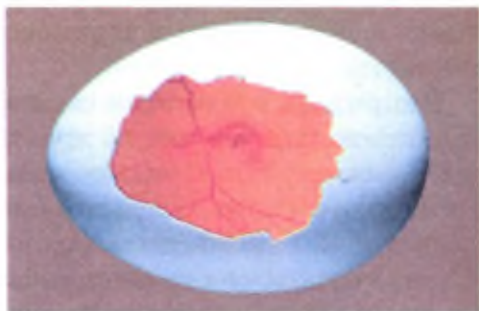
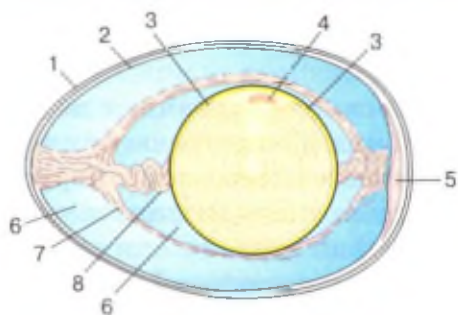


Рис. 83. Схема строения куриного яйца: 1 — скорлупа, 2 — подскорлуповая оболочка, 3 — желток, 4 — зародышевый диск, 5 — воздушная камера, 6 — белковая оболочка, 7 — белковые волокна, 8 — халаза (канатик)

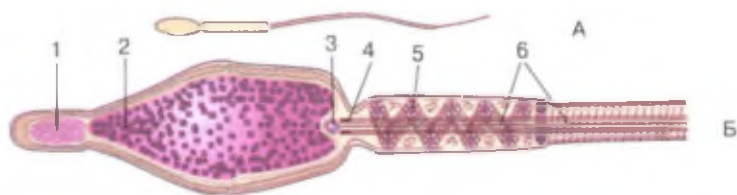


Рис. 84. Сперматозоид млекопитающего: А — общий вид; Б — схема строения: 1 — акросома, 2 — ядро, 3 — проксимальная центриоль, 4 — дистальная центриоль, 5 — митохондриальная спираль, 6 — осевая нить

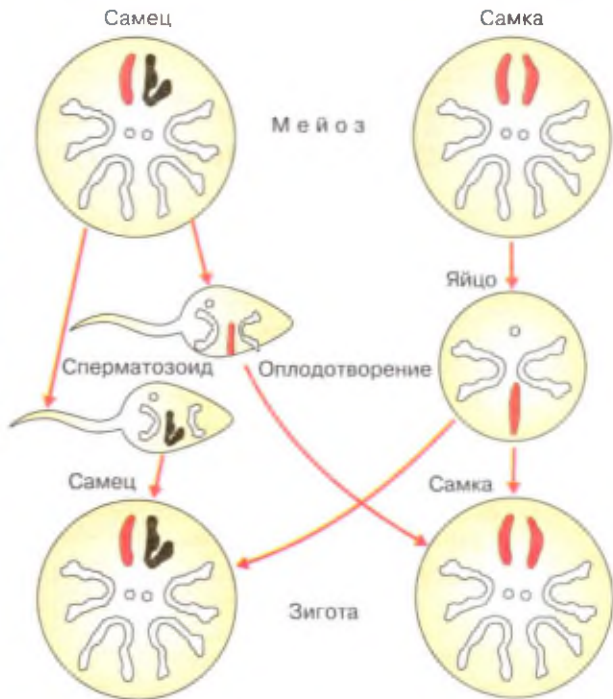
Женские половые клетки в процессе созревания покрываются оболочками и готовы к оплодотворению непосредственно после завершения мейоза. Во многих случаях, например у пресмыкающихся, птиц и млекопитающих, за счет деятельности клеток, окружающих яйцеклетку, вокруг нее возникает ряд дополнительных оболочек (рис. 83). Их функция заключается в защите яйцеклетки и развивающегося зародыша от внешних неблагоприятных воздействий. Яйцеклетки большинства животных содержат в цитоплазме запас питательных веществ в виде желтка.

Сперматозоиды могут иметь различные размеры и форму (рис. 84). Функция сперматозоидов состоит в доставке в яйцеклетку генетической информации и стимуляции ее развития. Сформированный сперматозоид содержит митохондрии, аппарат Гольджи, выделяющий ферменты, растворяющие мембрану яйца при *оплодотворении*, т. е. при слиянии сперматозоида и яйцеклетки (рис. 85). Возникающая при этом диплоидная клетка носит название зиготы (рис. 86).



Рис. 85. Один из этапов проникновения сперматозоида в яйцеклетку при оплодотворении

Рис. 86. Схема оплодотворения. При слиянии сперматозоида и яйцеклетки в зиготе восстанавливается диплоидный набор хромосом



Вопросы для повторения и задания

1. Чем половое размножение отличается от бесполого?
2. Укажите отличия мейоза от митоза.
3. Почему зрелые половые клетки одного организма несут разные комбинации генов?
4. Чем отличается яйцеклетка от сперматозоида?
5. Каковы функции мужской и женской половых клеток?

Подумайте

Какие эволюционные преимущества дает живым организмам половое размножение?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

Индивидуальное развитие организмов (онтогенез)

Индивидуальным развитием, или *онтогенезом*, называют весь период жизни особи — с момента слияния сперматозоида с яйцом и образования зиготы до гибели организма. Онтогенез делится на два периода: 1) *эмбриональный* — от образования зиготы до рождения или выхода из яйцевых оболочек; 2) *постэмбриональный* — от выхода из яйцевых оболочек или рождения до смерти организма.

Наука, изучающая закономерности индивидуального развития организмов на стадии зародыша, называется *эмбриологией* (от греч. *эмбрион* — зародыш).

32. Эмбриональный период развития

Вспомните!

- *Зигота* • *Дробление* • *Бластомер* • *Митотический цикл*
- *Специализация*

У большинства многоклеточных животных, независимо от сложности их организации, стадии эмбрионального развития, которые проходит зародыш, едины. В эмбриональном периоде выделяют три основных этапа: дробление, гастрюляцию и первичный органогенез.

Дробление. Развитие организма начинается со стадии одной клетки. Оплодотворенное яйцо — это клетка и одновременно уже организм на самой ранней стадии его развития. В результате многократных делений одноклеточный организм превращается в многоклеточный. Возникшее при оплодотворении путем слияния сперматозоида и яйцеклетки диплоидное ядро через несколько минут начинает делиться, вместе с ним делится и цитоплазма. Образующиеся клетки (бластомеры) с каждым делением уменьшаются в размерах, поэтому процесс деления называют *дроблением*. В период дробления накапливается *клеточный матери-*

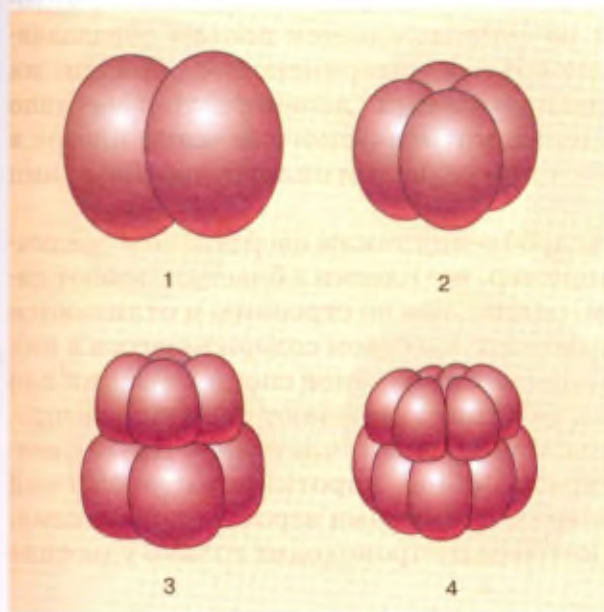


Рис. 87. Дробление яйца ланцетника: 1 — стадия 2 бластомеров, 2 — стадия 4 бластомеров, 3 — стадия 8 бластомеров, 4 — стадия 16 бластомеров

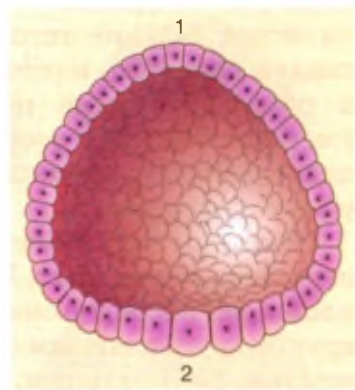


Рис. 88. Разрез поздней бластулы ланцетника:
1 — анимальный полюс,
2 — вегетативный полюс

ал для дальнейшего развития (рис. 87). Завершается дробление образованием многоклеточного зародыша — *бластулы*. Бластула имеет полость, наполненную жидкостью, так называемую *первичную полость тела* (рис. 88).

В тех случаях, когда в цитоплазме яйцеклетки желтка мало (как у ланцетника) или относительно немного (как у лягушки), дробление бывает полным, т. е. яйцеклетка делится целиком.

Иначе протекает период дробления у птиц. Свободная от желтка цитоплазма составляет всего 1% от общего объема яйцеклетки курицы; вся остальная цитоплазма яйцеклетки, а следовательно и зигота, заполнена массивом желтка (см. рис. 83). Если присмотреться к куриному яйцу, на одном из его полюсов непосредственно на желтке можно увидеть маленькое пятнышко — бластулу, или *зародышевый диск*, образовавшийся в результате дробления свободного от желтка участка цитоплазмы, содержащего ядро (см. рис. 83). В таких случаях дробление называют неполным. Неполное дробление свойственно и некоторым рыбам и рептилиям.

Во всех случаях — и у ланцетника, и у амфибий, и у птиц, а также у других животных — общий объем клеток на стадии

бластулы не превышает объема зиготы. Другими словами, митотическое деление зиготы не сопровождается ростом образовавшихся дочерних клеток до объема материнской, и размеры их в результате ряда последовательных делений прогрессивно уменьшаются. Эта особенность митотического деления клеток в ходе дробления наблюдается при развитии оплодотворенных яиц у всех животных.

Некоторые другие черты дробления также свойственны различным видам животных. Например, все клетки в бластуле имеют диплоидный набор хромосом, одинаковы по строению и отличаются друг от друга главным образом количеством содержащегося в них желтка. Такие клетки, лишенные признаков специализации для выполнения определенных функций, называют *неспециализированными* (или *недифференцированными*) клетками. Другая особенность дробления — чрезвычайно короткий митотический цикл бластомеров по сравнению с клетками взрослого организма. Во время очень короткой интерфазы происходит только удвоение ДНК.

Гастроуляция. Бластула, как правило, состоящая из большого числа бластомеров (например, у ланцетника из 3000 клеток), в процессе развития переходит в новую стадию, которую называют *гастроулой* (от греч. *гастер* — желудок). Зародыш на этой стадии состоит из отчетливо различимых пластов клеток — так называемых *зародышевых листков*: наружного, или *эктодермы* (от греч. *эктос* — находящийся снаружи), и внутреннего, или *энтодермы* (от греч. *энтос* — находящийся внутри). Совокупность процессов, приводящих к образованию гастроулы, называют *гастроуляцией*.

У ланцетника гастроуляция осуществляется путем впячивания одного из полюсов бластулы внутрь, по направлению к другому, у других животных — либо путем расслоения стенки бластулы, либо путем обрастания массивного вегетативного полюса мелкими клетками анимального полюса (рис. 89).

У многоклеточных животных, кроме кишечнополостных, параллельно с гастроуляцией или, как у ланцетника, вслед за ней возникает и третий зародышевый листок — *мезодерма* (от греч. *мезос* — находящийся посередине), которая представляет собой совокупность клеточных элементов, расположенных между экто- и энтодермой в первичной полости тела — бластоцеле. С появлением мезодермы зародыш становится трехслойным (рис. 90).

Таким образом, *сущность процесса гастроуляции заключается в перемещении клеточных масс*. Клетки зародыша практиче-

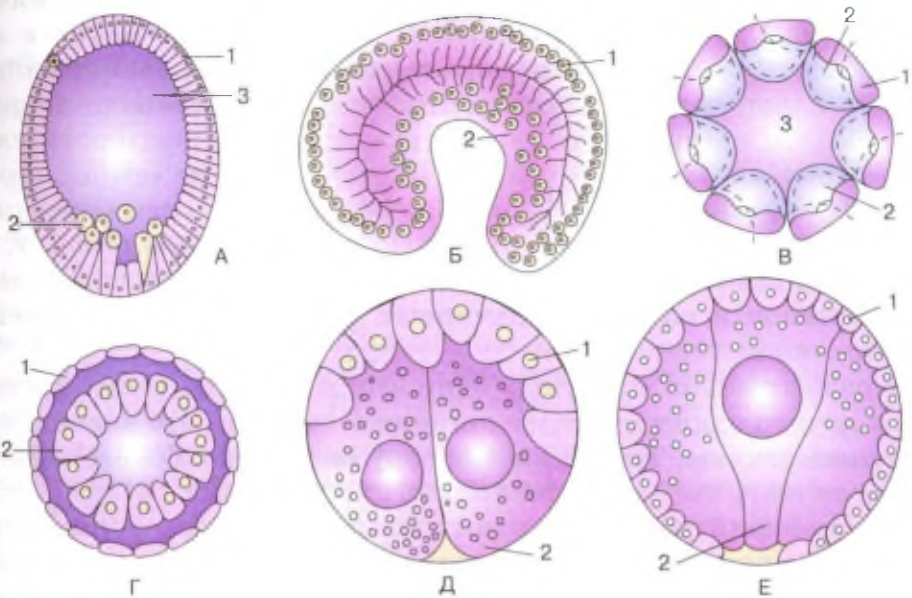


Рис. 89. Схема различных способов гастрюляции: А — миграция клеток; Б — впячивание; В, Г — расслаивание; Д, Е — обрастание; 1 — эктодерма, 2 — энтодерма, 3 — бластоцель

ски не делятся и не растут. Однако на этой стадии начинается использование генетической информации клеток зародыша, появляются первые признаки дифференцировки.

Дифференцировка, или *дифференцирование*, — это процесс возникновения и нарастания структурных и функциональных различий между отдельными клетками и частями зародыша. С морфологической точки зрения он выражается в том, что образуются несколько сотен типов клеток специфического строения, отличающихся друг от друга. Из неспециализированных клеток бластулы постепенно возникают клетки эпителия ко-

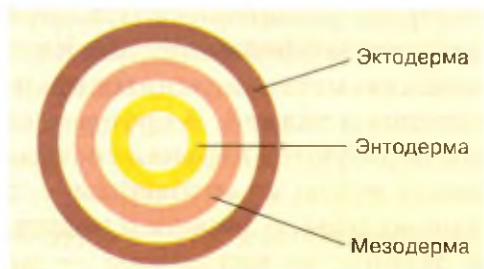


Рис. 90. Схема расположения в зародыше первых тканей — зародышевых листков

жи, появляются нервные, мышечные клетки и т. д. С биохимической точки зрения специализация клеток заключается в их способности синтезировать определенные белки, свойственные только данному типу клеток. Лимфоциты синтезируют защитные белки — антитела, мышечные клетки — сократительный белок миозин. Каждый тип клеток образует «свои», свойственные только ему белки. Биохимическая специализация клеток обеспечивается избирательной активностью генов, т. е. в клетках разных зародышевых листков — зачатков определенных органов и систем — начинают функционировать разные группы генов.

У разных видов животных одни и те же зародышевые листки дают начало одним и тем же органам и тканям. Это значит, что они *гомологичны*. Так, из клеток наружного зародышевого листка — эктодермы — у членистоногих, хордовых, в том числе у рыб, амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих, формируются кожные покровы и их производные, а также нервная система и органы чувств. *Гомология зародышевых листков подавляющего большинства животных — одно из доказательств единства животного мира.*

Органогенез. После завершения гастрюляции у зародыша образуется комплекс осевых органов: нервная трубка, хорда, кишечная трубка. У ланцетника осевые органы формируются следующим образом (рис. 91): под влиянием зачатка хорды эктодерма на спинной стороне зародыша прогибается по средней линии, превращаясь в желобок, а эктодерма, расположенная справа и слева от него, начинает нарастать на его края. Желобок — зачаток нервной системы — погружается под эктодерму, и края его смыкаются. Образуется нервная трубка. Вся остальная эктодерма — зачаток кожного эпителия.

Спинная часть эктодермы, располагающаяся непосредственно под нервным зачатком, обособляется от остальной эктодермы и сворачивается в плотный тяж — хорду. Из оставшейся части эктодермы развиваются мезодерма и эпителий кишечника. Дальнейшая дифференцировка клеток зародыша приводит к возникновению многочисленных производных зародышевых листков — органов и тканей. В процессе специализации клеток из эктодермы образуются нервная система, органы чувств, эпителий кожи, эмаль зубов; из эктодермы — эпителий кишки, пищеварительные железы — печень и поджелудочная железа, эпителий жабр и легких; из мезодермы — мышечная ткань, соединительная

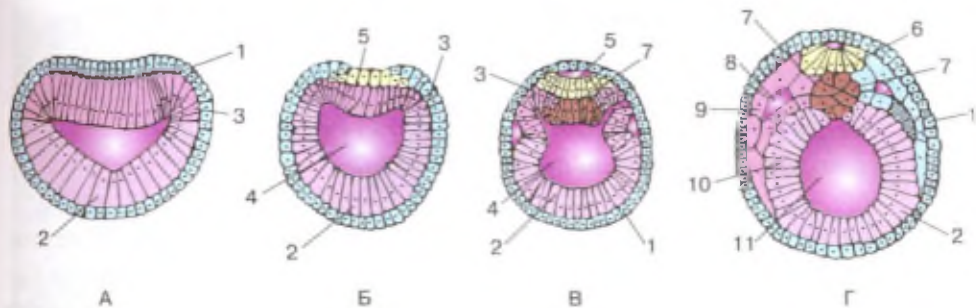


Рис. 91. Схема образования комплекса осевых органов у ланцетника. А — гастрюла (поперечный разрез); Б, В — формирование нервной трубки; В, Г — образование хорды, кишечной трубки и третьего зародышевого листка — мезодермы; 1 — эктодерма, 2 — энтодерма, 3 — зачаток мезодермы, 4 — полость гастрюлы (гастроцель), 5 — нервная пластинка, 6 — нервная трубка, 7 — хорда, 8 — вторичная полость тела (целом), 9 — мезодерма, 10 — кишечная трубка, 11 — полость кишки

ткань, в том числе рыхлая соединительная ткань, хрящевая и костная ткани, кровь и лимфа, а также кровеносная система, почки, половые железы и др.

? Вопросы для повторения и задания

1. Что такое зигота?
2. Каким путем возникают новые клетки при дроблении?
3. Чем дробление отличается от митотического деления клеток взрослых животных?
4. Что такое зародышевые листки?
5. Что такое дифференцировка клеток в процессе эмбрионального развития?
6. Что такое гомология зародышевых листков?

! Подумайте

Существует ли зависимость между количеством желтка в яйцеклетке и особенностями эмбрионального развития?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

33. Постэмбриональный период развития

Вспомните!

- Яйцевые оболочки • Зародышевые оболочки • Личинка
- Метаморфоз • Борьба за существование

В момент рождения или выхода организма из яйцевых оболочек заканчивается эмбриональный и начинается постэмбриональный период развития. Постэмбриональное развитие может быть прямым или сопровождается превращением (*метаморфозом*).

При прямом развитии (у пресмыкающихся, птиц, млекопитающих) из яйцевых оболочек или из тела матери выходит организм небольших размеров, но с уже заложенными всеми основными органами, свойственными взрослому животному. Постэмбриональное развитие в этом случае сводится в основном к росту и половому созреванию.

При развитии с метаморфозом из яйца выходит *личинка*, обычно устроенная проще взрослого животного, со специальными личиночными органами, во взрослом состоянии отсутствующими. Личинка питается, растет, и со временем личиночные органы заменяются органами, свойственными взрослым особям. Следовательно, при метаморфозе разрушаются личиночные органы и возникают органы, присущие взрослым животным.

Разберем несколько примеров непрямого постэмбрионального развития. Личинка асцидий (тип Хордовые, подтип Личиночно-хордовые) обладает всеми основными признаками хордовых животных: хордой, нервной трубкой, жаберными щелями в глотке (рис. 92). Она свободно плавает, затем прикрепляется к какой-либо твердой поверхности на дне моря, где и совершается метаморфоз: у нее исчезают хвост, хорда, мышцы, а нервная трубка распадается на отдельные клетки, большая часть которых фагоцитируется. От нервной системы личинки остается лишь группа клеток, дающая начало нервному узлу. Строение тела взрослой асцидии, ведущей прикрепленный образ жизни, несколько не напоминает обычные черты организации хордовых животных. Только знание особенностей онтогенеза позволяет определить систематическое положение асцидий: строение личинки указывает на происхождение их от хордовых животных, которые вели

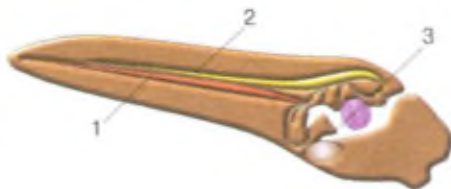


Рис. 92. Метаморфоз у асцидий: на фотографии — колония взрослых животных; рядом — схема строения личинки асцидии: 1 — хорда, 2 — нервная трубка, 3 — жаберные щели

свободный образ жизни. В процессе метаморфоза асцидии переходят к сидячему образу жизни, в связи с чем упрощается их организация.

Личиночная форма амфибий — головастик (рис. 93), для которого характерны жаберные щели, боковая линия, двухкамерное сердце, один круг кровообращения. В процессе метаморфоза, происходящего под влиянием гормона щитовидной железы, рассасывается хвост, появляются конечности, исчезает боковая линия, развиваются легкие и второй круг кровообращения. Обращает на себя внимание сходство ряда черт строения головастиков и рыб (боковая линия, строение сердца и кровеносной системы, жаберные щели).

Примером метаморфоза может служить также развитие насекомых (рис. 94). Гусеницы бабочек или личинки стрекоз резко отличаются по строению, образу жизни и среде обитания от взрослых животных и напоминают своих предков — кольчатых червей.

Таким образом, метаморфоз связан с переменной образа жизни или среды обитания. Значение метаморфоза заключается, во-первых, в том, что свободноживущие личинки прикрепленных или паразитических животных способствуют расселению вида. Кроме того, личиночные формы некоторых животных живут в иных условиях и имеют другие источники питания, чем взрослые особи: это снижает интенсивность конкуренции за пищу и в целом остроту борьбы за существование внутри вида.

Постэмбриональный период развития имеет разную продолжительность. Например, поденки в личиночном состоянии жи-

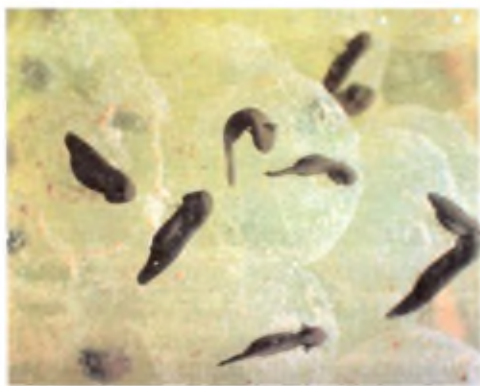


Рис. 93. Последовательные стадии метаморфоза у лягушки: вверху слева — только что вылупившиеся головастики; вверху справа — начало метаморфоза; внизу — лягушонок с остатками хвоста

внут 2—3 года, а в половозрелом — от 2—3 часов до 2—3 суток, в зависимости от видовой принадлежности. В большинстве же случаев постэмбриональный период более продолжителен. У человека он включает дорепродуктивную стадию, стадию зрелости (репродуктивную) и, наконец, стадию старости (пострепродуктивную).

У млекопитающих и человека наблюдается известная зависимость продолжительности жизни от длительности полового созревания и беременности. Обычно продолжительность жизни превышает дорепродуктивный период онтогенеза в 5—8 раз.

Постэмбриональное развитие сопровождается ростом. Различают рост неопределенный, продолжающийся в течение всей жизни, и определенный, ограниченный каким-то сроком. Неопределенный рост наблюдается у древесных форм растений, некоторых моллюсков, из позвоночных — у рыб, крыс.



Рис. 94. Последовательные стадии полного превращения (метаморфоза) бабочки: выход гусеницы из яйца, окукливание и выход бабочки из куколки

У многих животных рост прекращается вскоре после достижения половой зрелости. У человека рост заканчивается к 20—25 годам.



Вопросы для повторения и задания

1. Какое развитие называют постэмбриональным?
2. Что такое прямое и непрямое постэмбриональное развитие? Приведите примеры.
3. В чем заключается биологическое значение метаморфоза?
4. Назовите животных, у которых личинки имеют черты строения, свойственные предкам этих животных.



Подумайте

Какая стадия постэмбрионального развития у позвоночных животных занимает большую часть жизни? Объясните почему.



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

34. Общие закономерности развития. Биогенетический закон

Вспомните!

- Онтогенез • Филогенез • Осевой скелет • Наружный скелет
- Нервная трубка • Дивергенция

Все многоклеточные организмы развиваются из оплодотворенного яйца. Развитие зародышей у животных, относящихся к одному типу, во многом сходно. У всех хордовых животных в эмбриональном периоде закладывается осевой скелет — хорда, возникает нервная трубка, в переднем отделе глотки образуются жаберные щели. План строения хордовых животных также одинаков. На ранних стадиях развития зародыши позвоночных очень похожи (рис. 95). Эти факты подтверждают справедливость сформулированного К. Бэр *закона зародышевого*

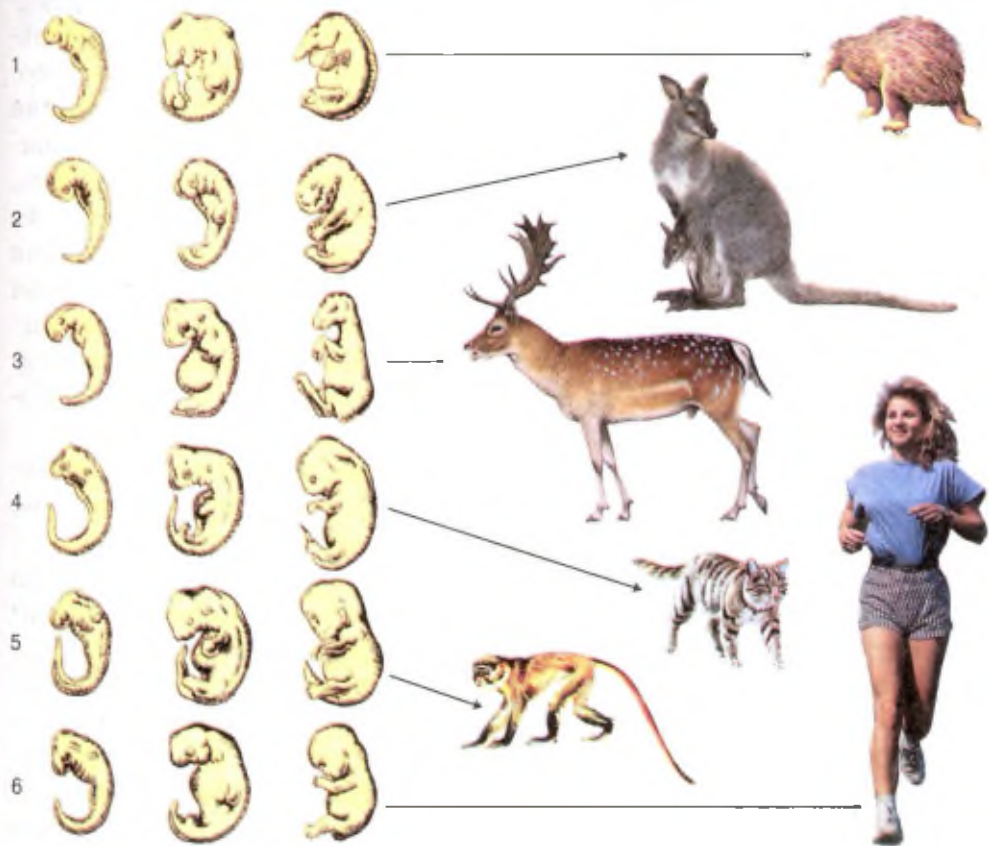


Рис. 95. Зародышевое сходство у позвоночных: 1 — однопроходные (ехидна), 2 — сумчатые (кенгуру), 3 — парнокопытные (олень), 4 — хищные (кошка), 5 — приматы (мартышка), 6 — человек

сходства: «Эмбрионы обнаруживают, уже начиная с самых ранних стадий, известное общее сходство в пределах типа». Сходство зародышей разных систематических групп доказывает общность их происхождения. В дальнейшем в строении зародышей проявляются признаки класса, рода, вида и, наконец, признаки, характерные для данной особи. Расхождение признаков зародышей в процессе развития называется *эмбриональной дивергенцией* и отражает эволюцию той или иной систематической группы животных, историю развития данного вида.

Большое сходство зародышей на ранних стадиях развития и появление различий на более поздних стадиях имеют свое объяс-

нение. Организм подвержен изменчивости на протяжении всего развития. Мутационный процесс затрагивает гены, обуславливающие особенности строения и обмена веществ у самых молодых эмбрионов. Но возникающие у них структуры (древние признаки, свойственные далеким предкам) играют весьма важную роль в процессах дальнейшего развития. Как указывалось, зачаток хорды индуцирует образование нервной трубки, а его утрата приводит к прекращению развития. Поэтому изменения на ранних стадиях обычно приводят к недоразвитию и гибели особи. Напротив, изменения на поздних стадиях, затрагивая менее значительные признаки, могут быть благоприятны для организма и в таких случаях подхватываются естественным отбором.

Появление в эмбриональном периоде развития современных животных признаков, свойственных их далеким предкам, отражает эволюционные преобразования в строении органов.

В своем развитии организм проходит одноклеточную стадию (стадия зиготы), что может рассматриваться как повторение филогенетической стадии первобытной амебы. У всех позвоночных, включая высших их представителей, закладывается хорда, которая далее замещается позвоночником, а у их предков, если судить по ланцетнику, хорда оставалась на всю жизнь. В ходе эмбрионального развития птиц и млекопитающих, включая человека, появляются жаберные щели в глотке и соответствующие им перегородки. Факт закладки частей жаберного аппарата у зародышей наземных позвоночных объясняется их происхождением от рыбообразных предков, дышащих жабрами. Строение сердца человеческого зародыша в ранний период формирования напоминает строение этого органа у рыб: оно с одним предсердием и одним желудочком. У беззубых китов в эмбриональном периоде появляются зубы. Зубы эти не прорезываются, они разрушаются и рассасываются.

Приведенные здесь и многие другие примеры указывают на глубокую связь между индивидуальным развитием организмов и их историческим развитием. Эта связь нашла свое выражение в *биогенетическом законе*, сформулированном Ф. Мюллером и Э. Геккелем в XIX в.: *онтогенез (индивидуальное развитие) каждой особи есть краткое и быстрое повторение филогенеза (исторического развития) вида, к которому эта особь относится.*



Вопросы для повторения и задания

1. Приведите примеры сходства черт строения у зародышей разных классов позвоночных животных.
2. Что такое эмбриональная дивергенция?
3. Объясните, почему у эмбрионов современных животных возникают черты строения, свойственные их далеким предкам.
4. В чем суть биогенетического закона Мюллера—Геккеля?



Подумайте

Основываясь на знаниях, полученных при изучении зоологии и анатомии и физиологии человека, приведите другие примеры справедливости биогенетического закона.



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.





Раздел

Наследственность и изменчивость организмов

Генетика — это наука о закономерностях наследственности и изменчивости живых организмов.

Наследственность — это способность живых организмов передавать свои признаки, свойства и особенности развития из поколения в поколение.

Изменчивость — это способность организмов приобретать в процессе

индивидуального развития новые признаки и свойства по сравнению с другими особями того же вида.

Основателем генетики является чешский ученый Г. Мендель, который разработал методы генетических исследований, установил основные законы наследования признаков и опубликовал их в 1865 г. Эти законы были подтверждены разными учеными в 1900 г., который и считается годом рождения генетики.



Закономерности наследования признаков

Первые попытки экспериментального решения проблем, связанных с передачей признаков из поколения в поколение, предпринимались уже в XVIII в. Ученые, скрещивая между собой различающиеся особи и получая от них потомство, стремились узнать, как наследуются родительские признаки. Однако неверный методический подход — одновременное изучение большого количества признаков — не позволял выявить каких-либо закономерностей.

35. Основные понятия генетики

Вспомните!

• *Ген* • *Мутация* • *Генотип*

Генетика изучает два фундаментальных свойства живых организмов: наследственность и изменчивость.

Обычно *наследственность* определяется как *способность родителей передавать свои признаки, свойства и особенности развития следующему поколению*. Благодаря этому каждый вид животных или растений, грибов или микроорганизмов сохраняет на протяжении многих поколений характерные для него черты.

Клетки, через которые осуществляется преемственность поколений, — специализированные половые при половом размножении и неспециализированные клетки тела (соматические) при бесполом — несут в себе не сами признаки и свойства будущих организмов, а только их задатки, получившие название генов. *Ген — участок молекулы ДНК (или хромосомы), определяющий возможность развития отдельного элементарного признака, или синтез одной белковой молекулы.*

Признак, определяемый каким-либо геном, может и не развиться. Возможность проявления признаков в значительной степени зависит от присутствия других генов и от условий внешней

среды. Следовательно, изучение условий проявления генов в виде признаков также составляет предмет генетики.

У всех организмов одного вида каждый ген располагается в одном и том же месте, или *локусе*, определенной хромосомы. В гаплоидном наборе хромосом имеется только один ген, ответственный за развитие данного признака. В диплоидном наборе хромосом (в соматических клетках) содержатся две гомологичные хромосомы и соответственно два гена, определяющих развитие какого-то одного признака. Гены, расположенные в одних и тех же локусах гомологичных хромосом и ответственные за развитие одного признака, называют *аллельными*. Для генов приняты буквенные обозначения. Если два аллельных гена полностью тождественны по структуре, т. е. имеют одинаковую последовательность нуклеотидов, их можно обозначить так: АА. Но в результате мутации может произойти замена одного нуклеотида в молекуле ДНК на другой. Признак, определяемый этим геном, тоже несколько изменится.

Мутация, вызывающая изменение структуры гена, т. е. появление варианта исходного гена, приводит и к появлению варианта первоначального признака. Один и тот же ген может мутировать неоднократно. В результате этого возникает несколько аллельных генов.

Совокупность всех генов одного организма называют *генотипом*. Однако генотип — это не просто сумма генов. Возможность и форма проявления гена зависят, как будет показано дальше, от условий среды. В понятие среды входят не только условия, в которых существует данный организм или клетка, но и присутствие других генов. Оказавшись в одном генотипе, гены могут сильно влиять на проявление действия соседних генов.

Организмы одного вида различаются между собой. Это хорошо видно на примере вида *Homo sapiens* (Человек разумный), каждый представитель которого имеет свои индивидуальные особенности. Подобная индивидуальная изменчивость существует у организмов любого вида животных и растений. Таким образом, изменчивость — свойство организмов, противоположное наследственности, — это способность организмов приобретать новые признаки и свойства. Изменчивость обусловлена изменением строения наследственных задатков — генов — и, как следствие, изменением их проявления в процессе развития организмов. Существуют разные типы изменчивости. Изучением причин, форм изменчивости и ее значения для эволюции также занимается генетика. При этом исследователи имеют дело не непосредственно

с генами, а с результатами их проявления — признаками или свойствами. Поэтому законы наследственности и изменчивости изучают, наблюдая за признаками организмов в ряду поколений.

Совокупность всех признаков организма называют фенотипом. Сюда относятся не только внешние, видимые признаки (цвет кожи, волос, форма уха или носа, окраска цветков), но и биохимические (структура белка, активность фермента, концентрация гормонов в крови и т. д.), гистологические (форма и размеры клеток, строение тканей и органов), анатомические (строение тела и взаимное расположение органов) и т. д.



Вопросы для повторения и задания

1. Дайте определение понятия «ген».
2. Что такое аллельные гены?
3. Дайте определение понятия «генотип».
4. Что такое признак? Какие бывают признаки? Приведите примеры признаков на различных уровнях организации.
5. Что такое фенотип и чем он отличается от генотипа?



Подумайте

Что является причиной изменчивости признаков у живых организмов?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

36. Гибридологический метод изучения наследования признаков Грегора Менделя

Вспомните!

- Цветковые растения
- Самоопыление
- Перекрестное опыление
- Наследственность

В своих опытах Г. Мендель использовал горох. Он выбрал для экспериментов организмы, относящиеся к *чистым линиям*, т. е.

такие растения, в ряду поколений которых при самоопылении все потомство было единообразным по изучаемому признаку. Надо отметить также, что он наблюдал за наследованием альтернативных, т. е. взаимоисключающих, контрастных признаков (см. таблицу). Например, цветки у одного растения были пурпурными, у другого — белыми, рост растения высокий или низкий и т. д.

Признак	Вариант проявления	
	доминантный	рецессивный
Форма семян	Гладкие	Морщинистые
Окраска семян	Желтая	Зеленая
Окраска цветков	Красная	Белая
Положение цветков	Пазушные (одиночные)	Верхушечные (полузонтичные)
Длина стебля	Длинный	Короткий
Форма плодов	Простые бобы	Членистые бобы

Суть предложенного Менделем метода заключается в следующем: он скрещивал растения, различающиеся по одной паре взаимоисключающих признаков, а затем проводил индивидуальный анализ результатов каждого скрещивания с использованием математической статистики.

Мендель особенно подчеркивал среднестатистический характер открытых им закономерностей и необходимость исследования большого количества (тысячи) потомков для их выявления. Метод Менделя получил название *гибридологического* или *метода скрещивания*.

Закономерности наследования признаков, выявленные Менделем, в настоящее время принято формулировать в виде законов.

? Вопросы для повторения и задания

1. Кто был первооткрывателем закономерностей наследования признаков?
2. На каких растениях проводил опыты Г. Мендель?
3. Благодаря каким приемам Г. Менделю удалось вскрыть законы наследования признаков?



Подумайте

Известны ли вам какие-либо альтернативные, или контрастные, признаки у человека?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

37. Законы Менделя

Вспомните!

- Половое размножение • Гомологичные хромосомы
- Диплоидный набор хромосом • Гаплоидный набор хромосом
- Аллельные гены • Гибридизация • Фенотип • Генотип

Скращивание двух организмов называют *гибридизацией*; потомство от скрещивания двух особей с различной наследственностью называют *гибридным*, а отдельную особь — *гибридом*. *Моногибридным* называют скрещивание двух организмов, отличающихся друг от друга по одной паре альтернативных (взаимоисключающих) признаков. Следовательно, при таком скрещивании прослеживаются закономерности наследования только двух вариантов признака, развитие которого обусловлено парой аллельных генов. Например, признак — цвет семян, взаимоисключающие варианты — желтый или зеленый. Все остальные признаки, свойственные данным организмам, во внимание не принимаются.

Если скрестить растения гороха с желтыми и зелеными семенами, то у полученных в результате скрещивания потомков (гибридов) семена будут желтыми. При скрещивании растений, различающихся гладкой и морщинистой формой семян, у гибридов семена будут гладкими. Следовательно, у гибрида первого поколения из каждой пары альтернативных признаков проявляется только один. Второй признак не развивается. Преобладание у гибрида признака одного из родителей Г. Мендель назвал *доминированием*. Признак, проявляющийся у гибрида первого поколения и подавляющий развитие другого признака, был

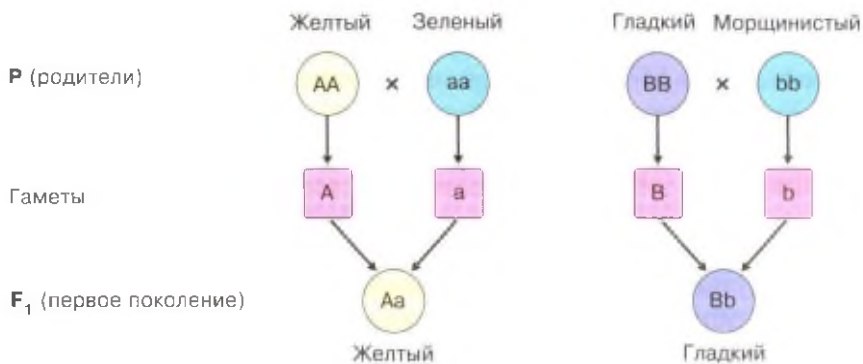
назван **доминантным** (от лат. *доминус* — господин), а противоположный, т. е. подавляемый, — **рецессивным** (от лат. *рецес-сус* — отступление, удаление). Доминантный признак принято обозначать прописной буквой, например *A*, рецессивный — строчной, *a*.

Как уже говорилось, Г. Мендель использовал в опытах растения, относящиеся к разным чистым линиям, потомки которых в длинном ряду поколений были сходны с родителями. Следовательно, у этих растений оба аллельных гена одинаковы.

Если в генотипе организма (зиготы) есть два одинаковых аллельных гена, абсолютно идентичных по последовательности нуклеотидов, такой организм называют **гомозиготным** по этому гену. Организм может быть гомозиготным по доминантным (*AA* или *BB*) или по рецессивным (*aa* или *bb*) генам. Если же аллельные гены отличаются друг от друга по последовательности нуклеотидов (один из них доминантный, а другой — рецессивный (*Aa*, *Bb*)), такой организм носит название **гетерозиготного**.

Закон доминирования — первый закон Менделя — называют также **законом единообразия гибридов первого поколения**, так как у всех особей этого поколения признак проявляется одинаково. Сформулировать этот закон можно следующим образом: *при скрещивании двух гомозиготных организмов, относящихся к разным чистым линиям и отличающихся друг от друга по одной паре альтернативных признаков, все первое поколение гибридов (F_1) окажется единообразным и будет нести признак одного из родителей.*

Рассмотрите результаты скрещивания растений гороха, различающихся по окраске семян (желтые и зеленые) и по форме (гладкие и морщинистые).



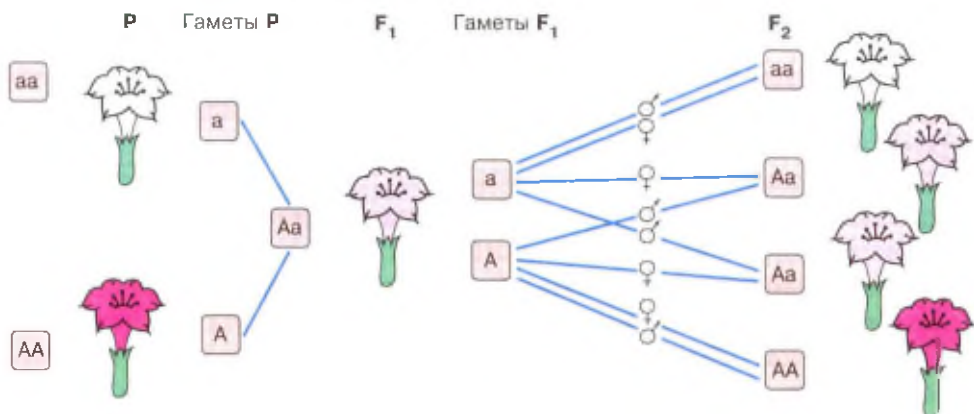


Рис. 96. Наследование окраски цветков у ночной красавицы при неполном доминировании: AA — красная; Aa — розовая; aa — белая

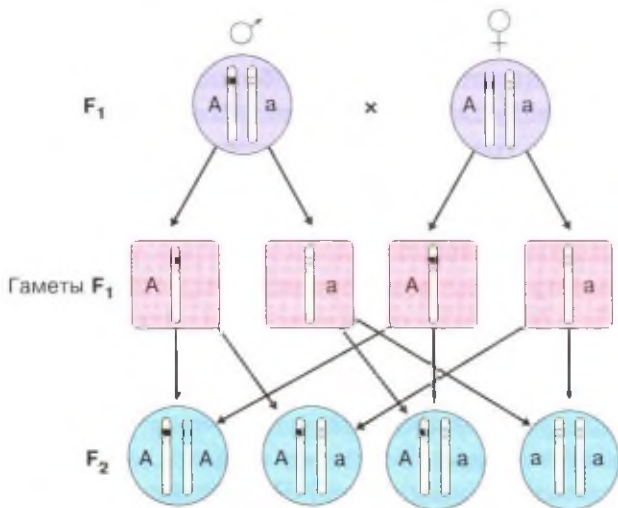
Неполное доминирование. В гетерозиготном состоянии доминантный ген не всегда полностью подавляет проявление рецессивного гена. В ряде случаев гибрид первого поколения F_1 не воспроизводит полностью ни одного из родительских признаков, и выражение признака носит промежуточный характер с большим или меньшим уклоном к доминантному или же рецессивному состоянию. Но все особи этого поколения проявляют единообразие по данному признаку. Так, при скрещивании ночной красавицы с красными цветками (AA) с растением, цветки которого окрашены в белый цвет (aa), в их потомстве — F_1 — образуется промежуточная, розовая, окраска цветка (Aa): все потомки F_1 единообразны (рис. 96).

Неполное доминирование — широко распространенное явление. Оно обнаружено при изучении наследования окраски цветка у львиного зева, строения перьев у птиц, окраски шерсти у крупного рогатого скота и овец, биохимических признаков у человека и т. д.

Второй закон Менделя (закон расщепления). Если потомков первого поколения — гетерозиготных особей, одинаковых по изучаемому признаку, скрестить между собой, то во втором поколении признаки обоих родителей проявляются в определенном числовом соотношении: $\frac{3}{4}$ особей будут иметь доминантный признак, $\frac{1}{4}$ — рецессивный.

Явление, при котором скрещивание гетерозиготных особей приводит к образованию потомства, часть которого несет доминантный признак, а часть — рецессивный, называют *расщепле-*

нием. Следовательно, *расщепление* — это распределение доминантных и рецессивных признаков среди потомства в определенном числовом соотношении. Рецессивный признак у гибридов первого поколения не исчезает, а только подавляется и проявляется во втором гибридном поколении (F_2).



Таким образом, второй закон Менделя можно сформулировать следующим образом: *при скрещивании двух гетерозиготных потомков первого поколения между собой во втором поколении наблюдается расщепление в определенном числовом отношении: по фенотипу 3 : 1, по генотипу 1 : 2 : 1*. Это означает, что среди потомков 25% организмов будут обладать доминантным признаком и являться гомозиготными, 50% потомков, также с доминантным фенотипом, окажутся гетерозиготными, а остальные 25% особей, несущих рецессивный признак, будут гомозиготными по рецессивному гену.

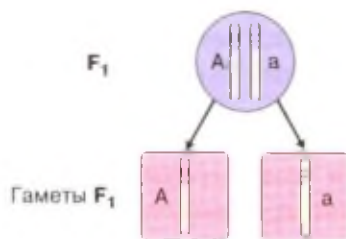
При неполном доминировании в потомстве гибридов (F_2) расщепление по генотипу и фенотипу совпадает (1 : 2 : 1).

Закон чистоты гамет. Мендель предположил, что наследственные факторы при образовании гибридов не смешиваются, а сохраняются в неизменном виде. В теле гибрида F_1 от скрещивания родителей, различающихся по альтернативным признакам, присутствуют оба фактора: доминантный и рецессивный. В виде признака проявляется доминантный наследственный фактор, рецессивный же подавляется. Связь между поколениями при половом размножении осуществляется через половые клетки — гаметы. Следовательно, необходимо допустить, что каждая гамета содер-

жит только один фактор из пары. Тогда при оплодотворении слияние двух гамет, каждая из которых несет рецессивный наследственный фактор, будет приводить к образованию организма с рецессивным признаком, проявляющимся фенотипически. Слияние же гамет, несущих по доминантному фактору, или же двух гамет, одна из которых содержит доминантный, а другая рецессивный фактор, будет приводить к развитию организма с доминантным признаком. Таким образом, появление во втором поколении (F_2) рецессивного признака одного из родителей (P) может иметь место только при соблюдении двух условий: 1) если у гибридов наследственные факторы сохраняются в неизменном виде; 2) если половые клетки содержат только один наследственный фактор из аллельной пары.

Расщепление признаков в потомстве при скрещивании гетерозиготных особей Мендель объяснил тем, что гаметы с генетической точки зрения чисты, т. е. несут только один ген из аллельной пары. Закон чистоты гамет можно сформулировать следующим образом: *при образовании половых клеток в каждую гамету попадает только один ген из аллельной пары.*

Почему и как это происходит? В процессе образования гамет у гибрида гомологичные хромосомы во время первого мейотического деления попадают в разные клетки:



Образуются два сорта гамет по данной аллельной паре. При оплодотворении гены могут случайно комбинироваться в зиготе во всех возможных сочетаниях: AA , Aa , aa .

Цитологической основой расщепления признаков у потомства при моногибридном скрещивании является расхождение гомологичных хромосом и образование гаплоидных половых клеток в мейозе.

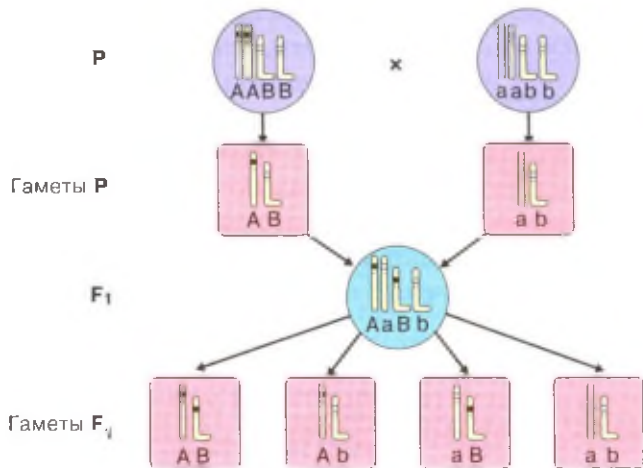
Дигибридное скрещивание. Третий закон Менделя. Изучение наследования одной пары аллелей позволило Менделю установить ряд важных генетических закономерностей: доминирование, неизменность рецессивных аллелей у гибридов, расщепление потомства гибридов по изучаемому признаку в отношении 3 : 1. Явление

расщепления позволило предположить, что гаметы генетически чисты, т. е. содержат только один ген из аллельной пары.

Однако организмы отличаются друг от друга по многим признакам. Установить закономерности наследования двух (и более) пар альтернативных признаков можно путем дигибридного или полигибридного скрещивания. *Дигибридным или полигибридным скрещиванием называют такое скрещивание, при котором исследователи наблюдают за характером наследования двух или более пар взаимоисключающих (альтернативных) признаков.*

Для *дигибридного скрещивания* Мендель взял гомозиготные растения гороха, различающиеся по двум генам: окраске семян (желтые и зеленые) и форме семян (гладкие и морщинистые). Доминантные признаки — желтая окраска (A) и гладкая форма (B) семян. Каждое растение образует один сорт гамет по изучаемым аллелям. При слиянии этих гамет все потомство будет единообразным.

При образовании гамет у гибрида первого поколения из каждой пары аллельных генов в гамету попадает только один, при этом вследствие случайности расхождения отцовских и материнских хромосом в первом делении мейоза ген A может попасть в одну гамету с геном B или с геном b , точно так же как ген a может объединиться в одной гамете с геном B или с геном b .



Поскольку в каждом организме образуется много половых клеток, в силу статистических закономерностей у гибрида возникают четыре сорта гамет в одинаковом количестве (по 25%): AB , Ab , aB , ab . Во время оплодотворения каждая из гамет одного ор-

ганизма 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 выписывают гаметы одного родителя, а по левому краю решетки по вертикали — гаметы другого. В квадратики вписывают генотипы зигот, образующихся при слиянии гамет (рис. 97). Так, по фенотипу потомство делится на четыре группы в следующем отношении: 9 желтых гладких : 3 желтых морщинистых : 3 зеленых гладких : 1 зеленое морщинистое. 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 ведет себя так же, как при моногибридном скрещивании, т. е. независимо от другой пары признаков.

При оплодотворении гаметы соединяются по правилам случайных сочетаний, но с равной вероятностью для каждой. Независимое распределение признаков в потомстве и возникновение различных комбинаций генов, определяющие развитие этих признаков, при дигибридном скрещивании *возможны лишь в случае, если пары аллельных генов расположены в разных парах гомологичных хромосом.*

Теперь можно сформулировать третий закон Менделя: *при скрещивании двух гомозиготных особей, отличающихся друг от друга по двум (и более) парам альтернативных признаков, гены и соответствующие им признаки наследуются независимо друг от друга и комбинируются во всех возможных сочетаниях.*

Если родительские формы различаются по двум парам признаков, во втором поколении наблюдается расщепление 9 : 3 : 3 : 1. На законах Менделя основан анализ расщепления и в более сложных случаях: при различиях особей по трем, четырем (и более) парам признаков.

Можно рассчитать также число образующихся типов гамет.

Общая формула расчета типов гамет у полигибридов — 2^n , где n — число гетерозиготных пар генов в генотипе:

У гибрида Aa образуются два типа гамет, или 2^1 .

У дигибрида $AaBb$ — четыре типа гамет, или 2^2 .

У тригибрида $AaBbCc$ — восемь типов гамет, или 2^3 .

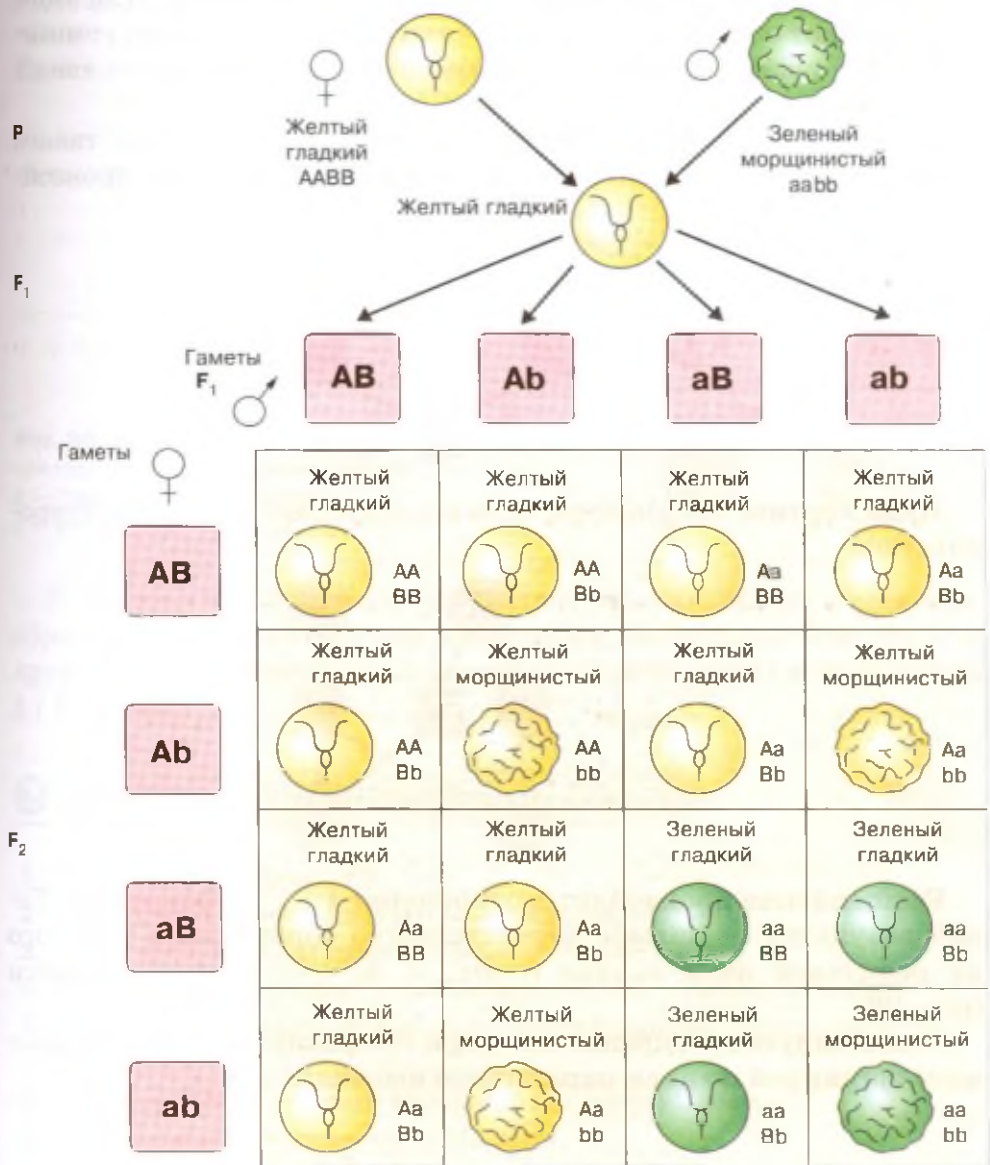
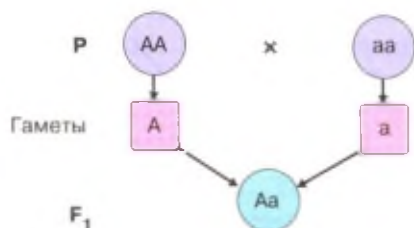


Рис. 97. Наследование окраски и формы семян у гороха: A — желтая окраска, a — зеленая окраска, B — гладкая форма семян, b — морщинистая форма семян

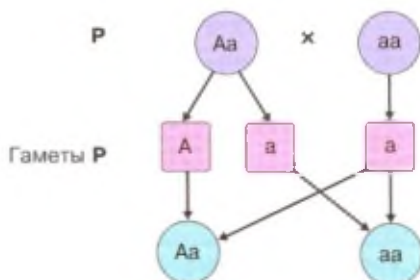
Анализирующее скрещивание. Разработанный Менделем гибридологический метод изучения наследственности не позволяет установить, гомозиготен или гетерозиготен организм, имеющий

доминантный фенотип по исследуемому гену (генам). Для этого скрещивают особь с неизвестным генотипом и организм, гомозиготный по рецессивной аллели (аллелям), имеющий рецессивный фенотип.

Если доминантная особь гомозиготна, потомство от такого скрещивания будет единообразным и расщепления не произойдет:

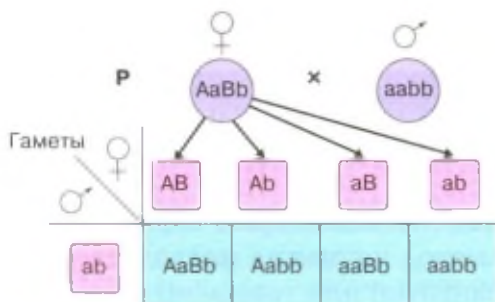


Иная картина получается, если исследуемый организм гетерозиготен:



Расщепление произойдет в отношении 1 : 1 по фенотипу. Такой результат — прямое доказательство образования у одного из родителей двух сортов гамет, т. е. его гетерозиготности (рис. 98).

Анализирующее скрещивание при гетерозиготности исследуемого организма по двум парам генов выглядит так:



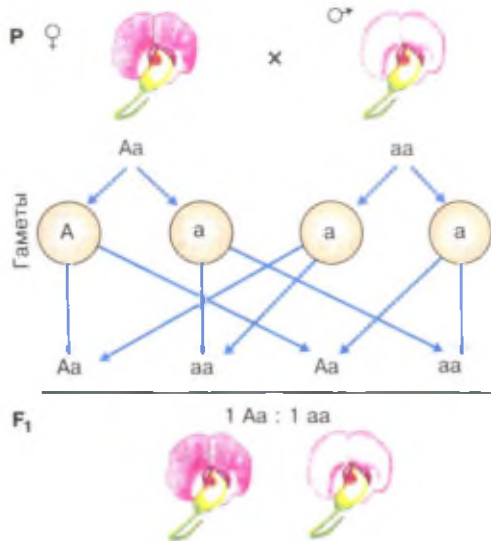


Рис. 98. Анализирующее скрещивание при моногибридном наследовании:
 A — пурпурная окраска цветка,
 a — белая окраска цветка

В потомстве от такого скрещивания, как видно из схемы, образуются четыре группы фенотипов, отличающиеся друг от друга по комбинации двух изучаемых признаков, в отношении $1:1:1:1$.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое гибридизация?
2. Какое скрещивание называют моногибридным?
3. Какое явление носит название доминирования?
4. Какой признак называют доминантным и какой — рецессивным?
5. Расскажите об опытах Менделя по моногибридному скрещиванию растений гороха.
6. Какой организм называют гомозиготным; гетерозиготным?
7. Сформулируйте первый закон Менделя.
8. Что такое неполное доминирование? Приведите примеры.
9. Сформулируйте второй закон Менделя.
10. Что такое чистота гамет?
11. На каком явлении основан закон чистоты гамет?
12. Сформулируйте третий закон Менделя.
13. Что такое анализирующее скрещивание?
14. Для каких аллельных пар справедлив третий закон Менделя?



Подумайте

Можно ли утверждать, что законы Менделя носят всеобщий характер, т. е. справедливы для всех организмов, размножающихся половым путем?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

38. Сцепленное наследование генов

Вспомните!

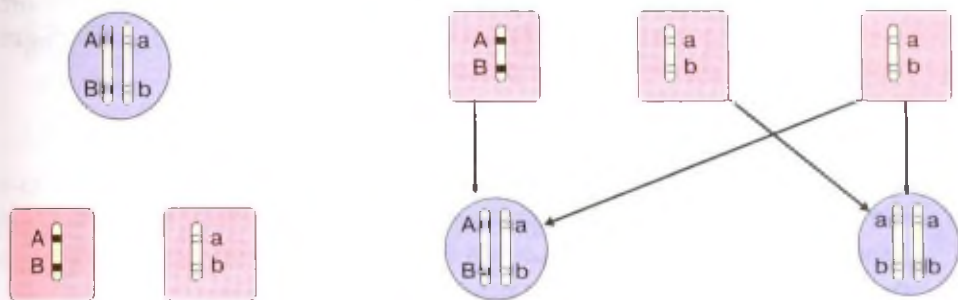
• Мейоз • Гомологичные хромосомы • Негомологичные хромосомы • Конъюгация • Кроссинговер

Г. Мендель проследил наследование семи пар признаков у душистого горошка. В дальнейшем многие исследователи, изучая наследование признаков у организмов разных видов, подтвердили законы Менделя. Было признано, что эти законы носят всеобщий характер.

Однако позднее оказалось, что у душистого горошка два признака — форма пыльца и окраска цветков — не дают независимого распределения в потомстве: потомки оставались похожими на родителей. Постепенно таких исключений из третьего закона Менделя накапливалось все больше. Стало ясно, что принцип независимого распределения в потомстве и свободного комбинирования распространяется не на все гены. В самом деле, у любого организма признаков очень много, а число хромосом невелико. Следовательно, в каждой хромосоме должно находиться много генов. Такие гены называют сцепленными друг с другом. Они образуют *группу сцепления*. Иными словами, каждая хромосома представляет собой не что иное, как группу сцепления, а поскольку гомологичные хромосомы несут гены, отвечающие за развитие одних и тех же признаков, генетики в нее включают обе парные хромосомы. Число групп сцепления соответствует количеству хромосом в гаплоидном (одинарном) наборе. Так, например,

у человека 46 хромосом — 23 группы сцепления, у дрозофилы 8 хромосом — 4 группы сцепления, у гороха 14 хромосом — 7 групп сцепления.

Гены, расположенные в одной хромосоме, наследуются так:



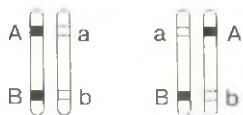
Явление совместного наследования генов, локализованных в одной хромосоме, называют *сцепленным наследованием*, а локализацию генов в одной хромосоме — *сцеплением генов*.

Таким образом, третий закон Менделя применим к наследованию аллельных пар, находящихся в негомологичных хромосомах.

Все гены, входящие в одну хромосому, передаются по наследству вместе. Эта закономерность была впервые вскрыта американским генетиком Томасом Морганом и впоследствии получила название закона его имени: *гены, расположенные в одной хромосоме, называются сцепленными и наследуются совместно*.

Однако при анализе наследования сцепленных генов было обнаружено, что в некотором проценте случаев, строго определенном для каждой пары генов, сцепление может нарушаться.

Вспомним мейоз. В профазе первого мейотического деления гомологичные хромосомы конъюгируют. В этот момент между ними может произойти обмен участками:



Однако если в результате кроссинговера в некоторых клетках происходит обмен участками хромосом между генами *A* и *B*, то появляются гаметы *Ab* и *aB* и в потомстве образуются четыре группы фенотипов, как при свободном комбинировании генов. Отличие заключается в том, что числовое отношение фенотипов не соответствует отношению $1 : 1 : 1 : 1$, установленному для дигибридного анализирующего скрещивания.

Таким образом, сцепление генов может быть полным и неполным. Причиной нарушения сцепления служит кроссинговер — перекрест хромосом в профазе I мейотического деления. Чем дальше друг от друга расположены гены в хромосоме, тем выше вероятность перекреста между ними и тем больше процент гамет с рекомбинированными генами, а следовательно, и больше процент особей, отличных от родителей.



Вопросы для повторения и задания

1. Для каких пар аллельных генов справедлив третий закон Менделя? При каком расположении различных пар аллельных генов он «не работает»?
2. Что такое сцепленное наследование?
3. Что такое группы сцепления? Сколько таких групп у человека?
4. Какие процессы могут нарушать сцепление генов?



Подумайте

Почему нарушение сцепления генов повышает изменчивость?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

39. Генетика пола. Наследование признаков, сцепленных с полом

Вспомните!

- Первичные половые признаки • Вторичные половые признаки
- Аутосомы • Половые хромосомы • Дальтонизм • Гемофилия

Проблема происхождения половых различий, механизмов определения пола и поддержания определенного соотношения полов в группах животных очень важна и для теоретической биологии, и для практики. Возможность искусственного регулирования пола животных была бы исключительно полезна для сельского хозяйства.



Рис. 99. Кариотип человека (справа — мужчины, слева — женщины)

Пол у животных чаще всего определяется в момент оплодотворения. Важнейшая роль в этом принадлежит хромосомному набору зиготы. Вспомним, что в зиготе содержатся парные — гомологичные — хромосомы, одинаковые по форме, размерам и набору генов в каждой. На рисунке 99 изображены хромосомы человека — женщины и мужчины. В женском кариотипе все хромосомы парные. В мужском кариотипе имеются одна крупная равноплечая непарная хромосома, не имеющая гомолога, и маленькая палочковидная хромосома, встречающаяся только в кариотипе мужчин. Таким образом, кариотип человека содержит 22 пары хромосом, одинаковых у мужского и женского организмов, и одну пару хромосом, по которой различаются оба пола.

Хромосомы, по которым мужской и женский пол отличаются друг от друга, называют *половыми* или *гетерохромосомами*. Половые хромосомы у женщин одинаковы, их называют X-хромосомами. У мужчин имеются одна X-хромосома и одна Y-хромосома. При созревании половых клеток в результате мейоза гаметы получают гаплоидный набор хромосом. При этом все яйцеклетки имеют по одной X-хромосоме.

Пол, который образует гаметы, одинаковые по половой хромосоме, называют *гомогаметным* и обозначают как XX.

При сперматогенезе получают гаметы двух сортов: половина несет X-хромосому, половина — Y-хромосому.

Пол, который формирует гаметы, неодинаковые по половой хромосоме, называют *гетерогаметным* и обозначают как XY.

У млекопитающих, в частности человека, некоторых насекомых, например дрозофилы, и ряда других организмов гомога-

метен женский пол; у бабочек, пресмыкающихся, птиц — мужской. Так, кариотип петуха обозначается как XX, а кариотип курицы — XY.

У человека решающую роль в определении пола играет Y-хромосома. Если яйцеклетка оплодотворяется сперматозоидом, несущим X-хромосому, развивается женский организм. Следовательно, женщины имеют одну X-хромосому от отца и одну X-хромосому от матери. Если яйцеклетка оплодотворяется сперматозоидом, несущим Y-хромосому, развивается мужской организм. Мужчина (XY) получает X-хромосому только от матери. Этим обусловлена особенность наследования генов, расположенных в половых хромосомах. *Наследование признаков, гены которых находятся в X- или Y-хромосомах, называют наследованием, сцепленным с полом. Сцеплением генов с полом называют локализацию генов в половой хромосоме.* Распределение этих генов в потомстве должно соответствовать распределению половых хромосом в мейозе и их сочетанию при слиянии половых клеток в процессе оплодотворения.

Рассмотрим наследование генов, расположенных в X-хромосоме. Следует иметь в виду, что в половых хромосомах могут находиться и гены, не участвующие в развитии половых признаков. Так, X-хромосома дрозофилы включает ген, от которого зависит

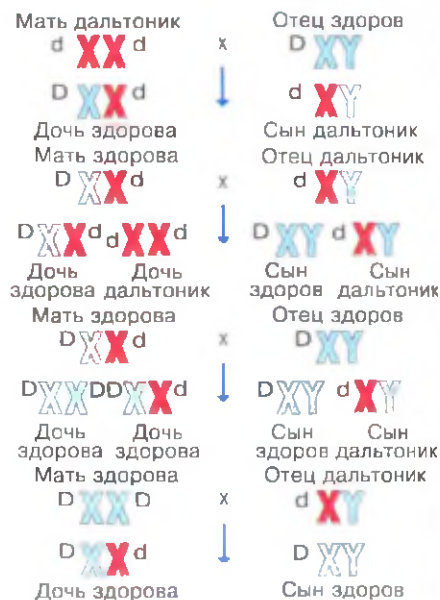
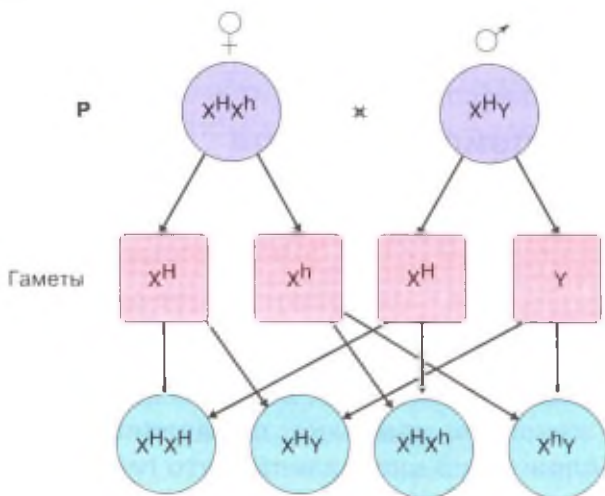


Рис. 100. Наследование дальтонизма у человека: **D** — нормальное зрение, **d** — дальтонизм (цветовая слепота)

окраска ее глаз. X-хромосома человека содержит ген, определяющий свертываемость крови (H). Его рецессивная аллель (h) вызывает тяжелое заболевание, характеризующееся пониженной свертываемостью крови, — гемофилию. В этой же хромосоме находятся гены, обуславливающие слепоту к красному и зеленому цветам (дальтонизм), форму и объем зубов, синтез ряда ферментов и т. д.

В отличие от генов, локализованных в аутосомах, при сцеплении с полом может проявиться и рецессивный ген, имеющийся в генотипе в единственном числе. Это происходит, когда он сцеплен с X-хромосомой и попадает в гетерогаметный организм. При кариотипе XY рецессивный ген в X-хромосоме проявляется фенотипически, поскольку Y-хромосома не гомологична X-хромосоме и не содержит доминантной аллели. Наследование сцепленного с полом гена дальтонизма изображено на рисунке 100.

Наследование гемофилии представлено на следующей схеме на примере брака женщины — носительницы гена гемофилии ($X^H X^h$) со здоровым мужчиной:



Половина мальчиков от такого брака будет страдать гемофилией.

При локализации какого-либо гена в Y-хромосоме признаки передаются только от отца к сыну.

В настоящее время изучено наследование многих нормальных и патологических (от греч. *патос* — болезнь) признаков у человека.



Вопросы для повторения и задания

1. Какие хромосомы называют половыми?
2. Какой пол называют гомогаметным и какой — гетерогаметным?
3. Что такое сцепление генов с полом? Приведите примеры наследования гена, сцепленного с полом.
4. Почему проявляются в виде признака рецессивные гены, локализованные в X-хромосоме человека? Приведите примеры доминантных и рецессивных признаков у человека.



Подумайте

Почему пол организма обычно определяется в момент оплодотворения, т. е. при слиянии сперматозоида и яйцеклетки?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

40. Взаимодействие генов

Вспомните!

• *Генотип* • *Аллельные гены* • *Доминантность* • *Рецессивность*

Гены — структурные и функциональные единицы наследственности. В перечисленных примерах гены ведут себя действительно как отдельные единицы, т. е. каждый из них определяет развитие одного какого-то признака, не зависящего от других. Поэтому может сложиться впечатление, что генотип — механическая совокупность генов, а фенотип — мозаика отдельных признаков. На самом деле это не так. И отдельная клетка, и организм являются целостными системами, где все биохимические и физиологические процессы строго согласованы и взаимосвязаны, потому что генотип — *это система взаимодействующих генов.*

Взаимодействуют друг с другом как аллельные, так и неаллельные гены, расположенные в различных локусах.

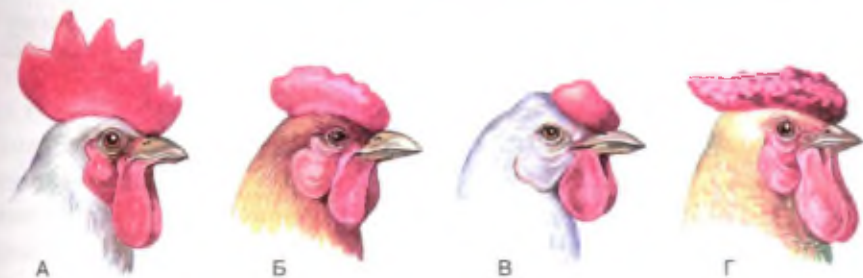
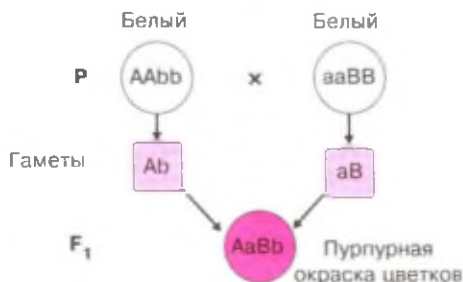


Рис. 101. Форма гребня у петухов: А — простой ($aabb$); Б — гороховидный ($aaBB$ или $aaBb$); В — ореховидный ($AABB$, $AaBB$, $AABb$ или $AaBb$); Г — розовидный ($AAbb$ или $Aabb$)

Аллельные гены вступают в отношения типа доминантности — рецессивности. Различают полное и неполное доминирование (см. с. 176—178).

Известно много примеров, когда гены влияют на характер проявления определенного неаллельного гена или на саму возможность проявления этого гена. Пример взаимодействия двух пар генов — наследование формы гребня у кур некоторых пород. В результате различных комбинаций этих генов возникают четыре варианта формы гребня (рис. 101).

У душистого горошка есть ген A , обуславливающий синтез бесцветного предшественника пигмента — пропигмента. Ген B определяет синтез фермента, под действием которого из пропигмента образуется пигмент. Цветки душистого горошка с генотипом $aaBB$ и $AAbb$ имеют белый цвет: в первом случае есть фермент, но нет пропигмента, во втором — есть пропигмент, но нет фермента, переводящего пропигмент в пурпурный пигмент. Проведем скрещивание двух растений с белыми цветками:



У дигетерозиготных растений есть и пропигмент (A), и фермент (B), участвующие в образовании пигмента. Формирование такого, казалось бы, не очень сложного признака, как окраска цветков,

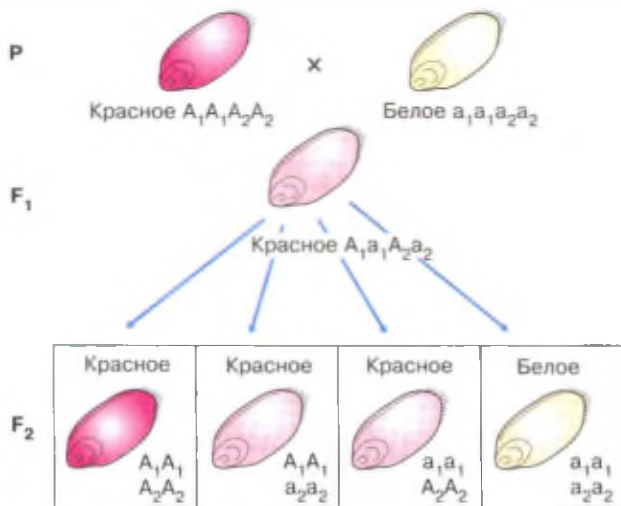


Рис. 102. Наследование окраски зерна у пшеницы (полимерия)

зависит от взаимодействия по крайней мере двух неаллельных генов, продукты которых взаимно дополняют друг друга.

Такие формы взаимодействия неаллельных генов, как взаимодополняемость их действия или подавление одним геном неаллельного ему гена, касаются качественных признаков. Но многие свойства организмов — масса, рост животных, яйценоскость кур, жирность и количество молока у скота, содержание витаминов в растениях и т. п. — не являются альтернативными. Такие признаки называют количественными. Они определяются неаллельными генами, действующими на один и тот же признак или свойство. Чем больше в генотипе доминантных генов, обуславливающих какой-либо признак, тем ярче этот признак выражается. У пшеницы красный цвет зерен определяется двумя генами: A_1 , A_2 . Неаллельные гены обозначены здесь одной буквой алфавита потому, что определяют развитие одного признака. При генотипе $A_1A_1A_2A_2$ окраска зерен наиболее интенсивная, при генотипе $a_1a_1a_2a_2$ они имеют белый цвет. В зависимости от числа доминантных генов в генотипе можно получить все переходы между интенсивно-красной и белой окраской (рис. 102).

Количество пигмента в коже человека также зависит от числа доминантных неаллельных генов, действующих в одном направлении. По типу такого взаимодействия наследуются многие хозяйственно ценные признаки животных и растений: содержание сахара в корнеплодах свеклы, длина колоса злаковых, длина початка кукурузы, плодовитость животных и др.

Другая форма взаимодействия неаллельных генов наблюдается при определении цвета плодов тыквы, кожуры лука и некоторых других признаков. Например, у лука в одной паре аллельных генов доминантный ген (A) обуславливает красную окраску луковицы, а его рецессивная аллель (a) — желтую. Однако любой цвет луковицы будет развиваться только в том случае, если в гено типе будет отсутствовать доминантный ген (B) из другой аллельной пары. Если же этот ген имеется в генотипе, то кожура луковицы окажется неокрашенной — белой — вне зависимости от комбинации генов из первой пары, определяющих красный или желтый цвет ($AABB$, $AaBB$, $aaBB$ — белая кожура, $Aabb$ — красная кожура, $aabb$ — желтая кожура).

Таким образом, многие признаки развиваются при взаимодействии нескольких генов. Итак, выражение «ген определяет признак» в значительной степени условно, так как действие гена зависит от других генов — от *генотипической среды*.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие из исследованных Г. Менделем признаков гороха наследуются как доминантные?
2. Как гены влияют на проявление качественных признаков?
3. Чем определяются количественные признаки?
4. Приведите примеры влияния генов на проявление других, неаллельных генов.
5. Охарактеризуйте форму взаимодействия неаллельных генов, при которой один ген способствует проявлению генов другой аллельной пары.
6. Каким образом гены одной аллельной пары могут препятствовать проявлению генов другой пары?

Подумайте

Обоснуйте положение о том, что генотип — целостная система.

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

Изменчивостью называют способность живых организмов приобретать новые признаки и свойства. Изменчивость отражает взаимосвязь организма с внешней средой. Различают наследственную (генотипическую) и ненаследственную (модификационную, фенотипическую) изменчивость.

41. Наследственная (генотипическая) изменчивость

Вспомните!

• Мутации • Кроссинговер • Кариотип • Полиплоидия

К *наследственной изменчивости* относят такие изменения признаков организма, которые определяются генотипом и сохраняются в ряду поколений. Иногда это крупные, хорошо заметные изменения, например коротконогость у овец (см. рис. 5), отсутствие оперения у кур (рис. 103, 104), раздвоенные пальцы у кошек, отсутствие пигмента (альбинизм), короткопалость у человека (рис. 105) или полидактилия (рис. 106). Вследствие внезапных изменений, стойко передающихся по наследству, возникли кар-

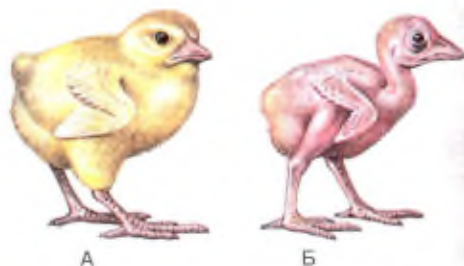


Рис. 103. Нормальный цыпленок (А) и мутантный, лишенный оперения (Б)

Рис. 104. Доминантная мутация — отсутствие оперения на шее у петуха



Рис. 105. Короткопалость у человека: А — нормальная рука (слева) и короткопалая (справа); Б — обратите внимание на укорочение костных фаланг и сращение этих косточек в одно целое



Рис. 106. Дополнительный палец (полидактилия) у человека

ликовый сорт душистого горошка, растения с махровыми цветками и многие другие признаки. Чаще же это мелкие, едва заметные отклонения от нормы.

Наследственные изменения генетического материала называют *мутациями* (от лат. *мутацио* — изменение).

Дарвин называл наследственную изменчивость *неопределенной* или *индивидуальной* изменчивостью, подчеркивая тем самым ее случайный, ненаправленный характер и относительную редкость возникновения. Мутации возникают вследствие изменения структуры гена или хромосом и служат единственным источником генетического разнообразия внутри вида. Благодаря постоянному мутационному процессу возникают различные варианты генов, составляющие резерв наследственной изменчивости. Однако разнообразие живых организмов, уникальность каждого генотипа обусловлены *комбинативной изменчивостью* — перегруппировкой хромосом при половом размножении и участков хромосом в процессе кроссинговера. При этом структура самих генов и хромосом

остается той же, что и у родителей, но меняются сочетания наследственных задатков и характер их взаимодействия в генотипе.

Характер проявления мутаций. Различают мутации доминантные и рецессивные. Большинство из них рецессивны и не проявляются у гетерозиготных организмов. Это обстоятельство очень важно для существования вида. Мутации оказываются, как правило, вредными, поскольку вносят нарушения в тонко сбалансированную систему биохимических превращений в организме. Обладатели вредных доминантных мутаций, сразу же проявляющихся в гомо- и гетерозиготном организме, часто оказываются нежизнеспособными и погибают на самых ранних этапах индивидуального развития.

При изменении условий внешней среды некоторые ранее вредные рецессивные мутации, составляющие резерв наследственной изменчивости, могут оказаться полезными, носители таких мутаций получают преимущество в процессе естественного отбора.

Место возникновения мутаций. Мутации подразделяют на генеративные и соматические. Мутация, возникшая в половых клетках, не влияет на проявления признаков данного организма, а обнаруживается только в следующем поколении. Такие мутации называют *генеративными*. Если изменяются гены в соматических клетках, такие мутации проявляются у данного организма и не передаются потомству при половом размножении. Но при бесполом размножении, если организм развивается из клетки или группы клеток, имеющих изменившийся — мутировавший — ген, мутации могут передаваться потомству. Такие мутации называют *соматическими*. В растениеводстве соматические мутации используют для выведения новых сортов культурных растений. Пример соматической мутации у млекопитающих — изредка встречающееся черное пятно на фоне коричневой окраски шерсти у каракулевых овец.

Уровни возникновения мутаций. Изменения, обусловленные заменой одного или нескольких нуклеотидов в пределах одного гена, называют *генными* или *точковыми* мутациями. Они влекут за собой изменение строения белков, заключающееся в появлении новой последовательности аминокислот в полипептидной цепи и, как следствие, изменении функциональной активности белковой молекулы.

Изменения структуры хромосом называют *хромосомными мутациями*. Эти мутации могут возникать вследствие утраты части хромосомы. Если в утраченный участок входят жизненно важные гены, то такая мутация может привести организм к гибели.

Потеря небольшой части 21-й хромосомы у человека служит причиной развития у детей тяжелого врожденного заболевания — острого лейкоза. В других случаях оторвавшийся участок может присоединиться к негомологичной хромосоме, в результате чего возникает новая комбинация генов, изменяющая характер их взаимодействия.

Изменения числа хромосом (уменьшение или увеличение) называют *геномными мутациями*. Вследствие нерасхождения какой-либо пары гомологичных хромосом в мейозе одна из образовавшихся гамет содержит на одну хромосому меньше, а другая — на одну хромосому больше, чем в нормальном гаплоидном наборе. Слияние с нормальной гаплоидной гаметой при оплодотворении приводит к образованию зиготы с меньшим или большим числом хромосом по сравнению с диплоидным набором, характерным для данного вида. В таких случаях нарушение генного баланса сопровождается нарушением развития. Известный пример — болезнь Дауна у человека, причина которой — присутствие в кариотипе трех хромосом 21-й пары. Болезнь Дауна проявляется значительным снижением жизнеспособности, недостаточным умственным развитием и рядом других расстройств.

У простейших и у растений часто наблюдается увеличение числа хромосом, кратное гаплоидному набору. Такое изменение хромосомного набора носит название *полиплоидии*. Степень ее бывает различной. У простейших число хромосом может увеличиваться в несколько сотен раз. Широко распространена полиплоидия у высших растений. С увеличением числа хромосомных наборов в кариотипе возрастает надежность генетической системы, уменьшается опасность снижения жизнеспособности в случае мутации. Полиплоидия нередко повышает жизнеспособность, плодовитость и другие жизненные свойства. В растениеводстве этим пользуются, искусственно получая полиплоидные сорта культурных растений, которые отличаются высокой продуктивностью (рис. 107). У высших животных, например у млекопи-

Рис. 107. Полиплоидия. Цветки капусты: А — диплоидная форма; Б — тетраплоидная; В — октоплоидная



тающих, полиплоидия встречается лишь в некоторых тканях, например в клетках печени.

Свойства мутаций. Мутации наследственны, т. е. стойко передаются из поколения в поколение. Одни и те же мутации могут возникать у разных организмов, относящихся к одному виду. По своему проявлению мутации могут быть полезными и вредными, доминантными и рецессивными.

Способность к мутированию — одно из свойств гена.

Впервые резкое повышение частоты наследственных изменений было получено с помощью рентгеновских лучей. Под их влиянием число возникающих мутаций удалось повысить более чем в 150 раз. Кроме лучей рентгена и других форм ионизирующей радиации, мутации могут быть вызваны химическими воздействиями. Факторы, затрагивающие процессы обмена веществ, особенно синтез ДНК, влияют и на мутационный процесс.

Искусственное получение мутаций имеет и практическое значение, так как повышает генетическое разнообразие внутри популяции или вида, «поставляя» материал для селекционеров.



Вопросы для повторения и задания

1. Какие формы изменчивости вам известны?
2. Что такое мутация?
3. Какие структуры клетки перестраиваются при мутационной изменчивости? Дайте классификацию мутаций.
4. Что такое полиплоидия?
5. Как можно вызвать увеличение частоты мутаций?



Подумайте

1. Почему Чарлз Дарвин называл наследственную изменчивость неопределенной?
2. Почему среди высших животных не существует полиплоидных организмов?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

42. Фенотипическая изменчивость

Вспомните!

• Факторы внешней среды • Норма реакции • Фенотип

Каждый организм развивается и обитает в определенных условиях, испытывая на себе действие различных факторов внешней среды — температуры, освещенности, влажности, количества и качества пищи; кроме того, он вступает во взаимоотношения с другими организмами своего и других видов. Все эти факторы могут изменять морфологические и физиологические свойства организмов, т. е. их фенотип.

Если у гималайского кролика на спине выщипать белую шерсть и наложить холодную повязку, на этом месте вырастет черная шерсть (рис. 108). Если черную шерсть удалить и наложить теплую повязку, вырастет белая шерсть. При выращивании гималайского кролика при температуре $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ вся шерсть у него будет белая. У потомства двух таких белых кроликов, выращенного в нормальных условиях, будет обычное распределение пигмента.

Многие признаки изменяются в процессе роста и развития под влиянием факторов внешней среды. Такие изменения признаков не наследуются.

Отметим еще одну особенность изменчивости, вызванной факторами внешней среды. У лотоса (рис. 109) и водяного ореха (рис. 110) подводные и надводные листья имеют разную форму:



Рис. 108. Фенотипическое изменение окраски шерсти гималайского кролика под влиянием различных температур



Рис. 109. Лотос орехоносный. Схематический рисунок общего вида растения



Рис. 110. Водяной орех плавающий. Общий вид растения. Вверху показаны надводные листья, на нижней части стебля — подводные

у лотоса в воде длинные тонкие листья ланцетовидной формы, а у водяного ореха — изрезанные — перистые.

Под действием ультрафиолетовых лучей у всех людей (если они не альбиносы) кожа покрывается загаром благодаря накоплению в ней гранул пигмента меланина.

Таким образом, на действие определенного фактора внешней среды каждый вид организмов реагирует специфически и реакция (изменение признака) оказывается сходной у всех особей данного вида.

Вместе с тем изменчивость признака под влиянием условий внешней среды не беспредельна. Степень варьирования признака, или, другими словами, пределы изменчивости, называют *нормой реакции*. Широта нормы реакции обусловлена генотипом и зависит от значения признака в жизнедеятельности организма.

Узкая норма реакции свойственна таким важным признакам, как размеры сердца или головного мозга. В то же время количество жира в организме изменяется в широких пределах. Мало варьирует строение цветка у растений, опыляемых насекомыми, зато очень изменчивы размеры листьев. Знание нормы реакции организма, пределов его модификационной изменчивости имеет большое значение в селекционной практике при «конструировании» новых форм растений, животных и микроорганизмов, полезных человеку. Особенно важно это для практики сельского хозяйства, цель которой — повышение продуктивности растений и животных путем не только внедрения новых селекционных форм — пород и сортов, но и максимального использования возможностей уже существующих пород и сортов. Знание закономерностей модификационной изменчивости необходимо и в медицине для поддержания и развития человеческого организма в пределах нормы реакции.

Таким образом, фенотипическая изменчивость характеризуется следующими основными свойствами: 1) ненаследуемость; 2) групповой характер изменений; 3) зависимость изменений от действия определенного фактора среды; 4) обусловленность пределов изменчивости генотипом, т. е. при одинаковой направленности изменений степень их выраженности у разных организмов различна.

Вопросы для повторения и задания

1. Как среда влияет на проявление признака? Приведите примеры.
2. Докажите на примерах ненаследуемость изменений признака, вызванных действием условий внешней среды.
3. Что такое норма реакции? От чего зависит ее широта?
4. Перечислите свойства фенотипической изменчивости.

Подумайте

Приведите примеры известных вам из жизни приобретенных признаков. Объясните, почему они не наследуются.

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

Селекция растений, животных и микроорганизмов

В процессе становления человека как вида ему пришлось не только защищаться от диких зверей, устраивать убежища и т. п., но и обеспечивать себя пищей. Поиск съедобных растений и охота — не очень надежные источники пищи, и голод был постоянным спутником первобытных людей. Естественный отбор на интеллект и развитие общественных отношений в первобытном людском стаде привели к формированию для человека искусственной среды обитания, уменьшающей его зависимость от природных условий. При этом одним из крупнейших достижений стало создание постоянного источника продуктов питания путем одомашнивания диких животных и возделывания растений.

Выведение разнообразных пород животных и сортов растений стало возможным благодаря существованию у диких видов комбинативной наследственной изменчивости как результата полового размножения, а также искусственному отбору, применяемому человеком. Животные и растения, выведенные человеком, резко отличаются от своих диких предков по целому ряду качеств. У культурных форм сильно развиты отдельные признаки, ненужные или даже вредные для существования в естественных условиях, но полезные для человека. Например, способность некоторых пород кур нести 300 и более яиц в год лишена биологического смысла, поскольку такое количество яиц курица не может насиживать. Можно привести множество подобных примеров, относящихся не только к хозяйственно полезным признакам, но и к декоративным — у голубей, бойцовых петухов, некоторых пород собак и кошек.

Размеры и продуктивность культурных растений выше, чем у родственных диких видов, но вместе с тем они лишены средств защиты от неблагоприятных условий окружающей среды и от поедания: горьких или ядовитых веществ, шипов, колючек.

Для более полного удовлетворения пищевых и технических потребностей человека создаются все новые сорта растений и породы животных с заранее заданными свойствами. Разработка теории и методов создания и совершенствования пород животных и сортов растений представляет предмет особой науки — селекции. Селекционеры исследуют специфические закономерности эволюции домашних животных и возделываемых растений, происходящей под направляющим влиянием человека.

43. Центры многообразия и происхождения культурных растений

Вспомните!

- Дикорастущие злаки • Культурные злаки • Селекция
- Генофонд

Генофонд существующих пород животных или сортов растений, естественно, беднее по сравнению с генофондом исходных диких видов. Между тем успех селекционной работы зависит главным образом от генетического разнообразия исходной группы растений или животных. Поэтому при выведении новых сортов растений и пород животных очень важны поиски и выявление полезных признаков у диких форм. С целью изучения многообразия и географического распространения культурных растений выдающийся русский генетик и селекционер Н. И. Вавилов в 1920—1940 гг. организовал многочисленные экспедиции как на территории нашей страны, так и во многие зарубежные страны. Во время этих экспедиций были изучены мировые растительные ресурсы и собран огромный семенной материал, который в дальнейшем использовали для селекционной работы. Н. И. Вавилов сделал важные обобщения, послужившие крупным вкладом в теорию селекции; он выделил семь центров происхождения культурных растений, из которых они расселились по всему миру. Это Южноазиатский тропический центр — родина 50% культурных растений, Восточноазиатский, из которого расселились по миру 20% культурных растений, Юго-Западноазиатский (14% культурных растений, в том числе пшеница, рожь, бобовые и др.), Средиземноморский (11% культурных растений, в том

числе капуста, сахарная свекла, чечевица), Абиссинский — родина ячменя, бананов, кофейного дерева и др., Центральноамериканский, откуда пошли кукуруза, хлопок, тыква, табак, и, наконец, Южноамериканский — родина картофеля, ананаса и др. (Впоследствии число центров было увеличено до двенадцати.)

История вавилонской коллекции включает и драматические страницы. В 1940 г. ее создатель был арестован по ложному обвинению и в 1943 г. погиб от истощения в саратовской тюрьме. Коллекция хранилась во Всесоюзном институте растениеводства в Ленинграде. Во время фашистской блокады города сотрудники института, голодавшие вместе со всеми ленинградцами, сумели сохранить всю коллекцию до последнего зернышка.

Работа по созданию семенных коллекций сортов культурных растений и их дикорастущих предков, начало которой положил Н. И. Вавилов, продолжается и в настоящее время. В нашей стране эта коллекция включает более 320 тыс. образцов, относящихся к 1041 виду растений. Сюда входят дикие виды, сородичи культурных растений, старые местные сорта, все лучшее и новое, что создано за последнее время усилиями селекционеров всех стран мира. Из мирового генофонда ученые отбирают генетические источники хозяйственно ценных признаков: урожайности, скороспелости, устойчивости к болезням и вредителям, засухоустойчивости, устойчивости к полеганию и др. Современные генетические методы дают возможность добиваться в селекции растений очень крупных успехов. Так, использование ценных генов дикого эфиопского ячменя позволило создать выдающийся по продуктивности сорт ярового ячменя Одесский-100.



Вопросы для повторения и задания

1. Чем отличаются одомашненные животные и культурные растения от диких?
2. Что служит предметом селекции?
3. Какое значение для селекции имеет знание центров происхождения культурных растений?
4. Какие центры происхождения культурных растений вам известны?



Подумайте

1. Почему одомашнивание диких животных и возделывание культурных растений стало поворотным пунктом в развитии человечества?

2. Почему для успешной селекционной работы необходимо знать биологические свойства исходных диких видов?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

44. Методы селекции растений и животных

Вспомните!

- *Порода* • *Сорт* • *Генофонд* • *Гомозиготные организмы*
- *Полиплоиды*

Основная задача селекции — создание высокопродуктивных пород животных, сортов растений и штаммов микроорганизмов, наилучшим образом удовлетворяющих пищевые, эстетические и технические потребности человека.

Породой и сортом (чистой линией) называют искусственно созданную человеком популяцию организмов, которая характеризуется специфическим генофондом, наследственно закрепленными морфологическими и физиологическими признаками, определенным уровнем и характером продуктивности.

Каждой породе или сорту свойственна определенная норма реакции. Так, куры породы белый леггорн отличаются высокой яйценоскостью. При улучшении условий содержания и кормления яйценоскость кур повышается, а масса их практически не меняется. Фенотип (в том числе продуктивность) наиболее полно проявляется лишь при определенных условиях, поэтому для каждого района с теми или иными климатическими условиями, агротехническими приемами и т. д. необходимо иметь свои сорта и породы.

Все эти факторы необходимо учитывать при интенсивном сельскохозяйственном производстве, цель которого — максимальное производство продуктов питания при минимальных затратах средств на единицу продукции. Интенсификация сельского хозяйства стала актуальной задачей нашего времени в связи с острой нехваткой продуктов питания в некоторых регионах мира. Особенно большое значение имеет дефицит белка, без которого невозможно нормальное развитие. Решается эта проблема разны-

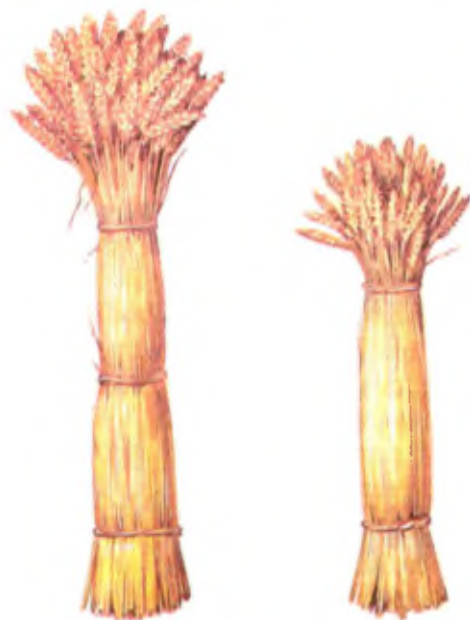


Рис. 111. Полученный в результате селекционной работы низкостебельный сорт пшеницы с улучшенным качеством клейковины (справа) и исходный сорт (слева)

ми способами, включающими совершенствование агротехники, подбор пород животных и сортов культурных растений, наиболее продуктивных в данных условиях, производство для животных кормового белка из нетрадиционных источников и т. д. К числу таких способов относится и широкое использование современных методов селекции.

Отбор и гибридизация. Основными методами селекции являются отбор и гибридизация. В растениеводстве по отношению к перекрестноопыляющимся растениям нередко применяют *массовый отбор*. При таком отборе в посеве сохраняют только растения с нужными качествами. При повторном посеве снова отбирают растения с определенными признаками. Так были выведены сорта ржи (например, сорт Вятка). Сорт, получаемый этим способом, генетически неоднороден, и отбор время от времени приходится повторять. *Индивидуальный отбор* сводится к выделению отдельных особей и получению от них потомства. Индивидуальный отбор приводит к получению чистой линии — группы генетически однородных (гомозиготных) организмов. Путем отбора были выведены многие ценные сорта культурных растений (рис. 111).

Для внесения в генофонд создаваемого сорта растений или породы животных ценных генов и получения оптимальных комбинаций признаков применяют гибридизацию с последующим от-

бором. Так, некий сорт пшеницы может иметь прочный стебель и быть устойчивым к полеганию, но в то же время его легко поражает ржавчина. Другой же сорт, с тонкой и слабой соломиной, устойчив к ржавчине. При скрещивании этих двух пшениц в потомстве обнаруживаются различные комбинации, в том числе у части растений сочетаются признаки устойчивости к полеганию и к ржавчине. Такие гибриды отбирают и используют для посева.

В животноводстве из-за малого числа потомков широко используют индивидуальный отбор с тщательным учетом хозяйственно полезных признаков и гибридизацию. У сельскохозяйственных животных проводят или близкородственное скрещивание для перевода большинства генов породы в гомозиготное состояние, или неродственное скрещивание между породами или видами. Неродственное скрещивание имеет целью комбинацию нескольких полезных признаков. Такое скрещивание при последующем строгом отборе приводит к улучшению свойств породы (рис. 112).



Рис. 112. Отбор по полезным для человека признакам приводит к изменению исходного дикого вида. Вверху справа — дикий кабан, слева и внизу — чистопородный одомашненный боров



Рис. 113. Гетерозис по продуктивности гибрида (в центре), полученного от скрещивания двух различных линий кукурузы (рядом)

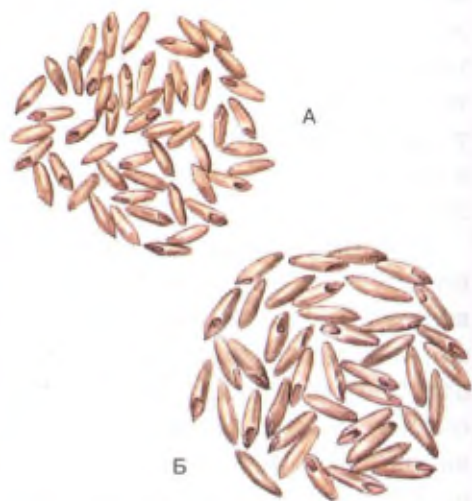


Рис. 114. Семена ржи: А — диплоидный сорт ($2n = 14$); Б — тетраплоидный ($4n = 28$)

При скрещивании разных пород животных или сортов растений, а также при межвидовых скрещиваниях гибриды первого поколения отличаются повышенной жизнеспособностью и мощным развитием (рис. 113). Это явление, получившее название *гетерозиса*, или *гибридной силы*, объясняется переходом многих генов в гетерозиготное состояние и взаимодействием благоприятных доминантных генов.

Одно из выдающихся достижений современной селекции — разработка способов преодоления бесплодия межвидовых гибридов. Впервые это удалось осуществить в начале XX в. советскому генетику Г. Д. Карпеченко при скрещивании редьки и капусты. Это вновь созданное человеком растение не было похоже ни на редьку, ни на капусту. Стручки его состояли из двух половинок, из которых одна напоминала стручок капусты, другая — редьки.

Впоследствии удалось получить гибрид пшеницы с пыреем. На основе этого гибрида был выведен новый сорт пшеницы — зерно-кормовой, который за три укоса в сезон дает до 300—450 ц/га зеленой массы. Методами отдаленной гибридизации получена также новая зерновая и кормовая культура — гибрид пшеницы с рожью. Этот гибрид, названный *тритикале*, удачно сочетает

ценные признаки пшеницы и ржи, давая большие урожаи зерна и зеленой массы с высокими питательными качествами.

Нередко в растениеводстве получают и *полиплоидные растения*, отличающиеся более крупными размерами, высокой урожайностью и более активным синтезом органических веществ (рис. 114). Широко распространены полиплоидные сорта клевера, сахарной свеклы, турнепса, ржи, гречихи, масличных растений.

Вопросы для повторения и задания

1. Что называют породой; сортом?
2. Какие основные методы селекции вы знаете?
3. Что такое массовый отбор; индивидуальный отбор?
4. С какой целью в селекционной работе производится скрещивание?
5. Какие межвидовые гибриды вам известны?
6. Какими особенностями отличаются полиплоидные сорта культурных растений?
7. Чем отличаются методы одомашнивания, применявшиеся первобытным человеком, от современных?

Подумайте

Почему в селекции растений и животных применяют разные методы?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

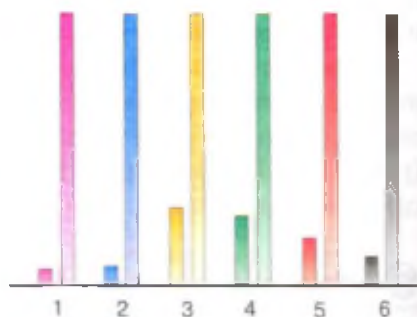
45. Селекция микроорганизмов

Вспомните!

- *Прокариоты* • *Архебактерии* • *Эубактерии* • *Витамины*
- *Незаменимые аминокислоты* • *Интерферон* • *Инсулин*

Микроорганизмы интенсивно используются в самых разнообразных технологических процессах. Продукты жизнедеятельности прокариот и одноклеточных эукариот с каждым годом все шире

Рис. 115. На графике показано относительное увеличение продуктивности штаммов микроорганизмов, выведенных человеком, по сравнению с исходными дикими формами. Левый столбик — продуктивность дикого штамма, правый — выведенного человеком. 1 — пенициллин, 2 — стрептомицин, 3 — хлортетрациклин, 4 — эритромицин, 5 — альбомуцин, 6 — олеандомицин



применяют в разных отраслях народного хозяйства, где используется ферментативная деятельность этих организмов (в основном грибов и бактерий): в хлебопечении, пивоварении, виноделии, приготовлении многих молочных продуктов. В связи с этим развивается промышленная микробиология и ведется интенсивная селекция новых штаммов микроорганизмов с повышенной продуктивностью веществ, необходимых человеку. Такие штаммы имеют большое значение для производства кормового белка, ферментных и витаминных препаратов, антибиотиков (рис. 115), используемых в пищевой промышленности, медицине, животноводстве. Например, микроорганизмы применяют для получения витаминов B_2 , B_{12} . Дрожжевые грибы, растущие на гидролизатах древесины или за счет потребления парафинов, служат источником кормового белка. В дрожжах содержится до 60% белков. Применение этих высокобелковых концентратов позволяет дополнительно получать до 1 млн т мяса в год. Важное значение в народном хозяйстве имеет производство незаменимых аминокислот с помощью микроорганизмов. Недостаток в пище этих соединений резко тормозит рост. В традиционных для животных кормах незаменимых аминокислот мало, и для нормального питания скота приходится увеличивать рационы. Добавление же 1 т лизина — аминокислоты, полученной путем микробиологического синтеза, — позволяет сэкономить десятки тонн фуража.

Технологию получения необходимых человеку продуктов из живых клеток или с их помощью называют *биотехнологией*. Биотехнология развивается чрезвычайно быстро. За последние 30 лет возник ряд совершенно новых производств, основанных на использовании различных бактерий и грибов.

Микроорганизмы «работают» в металлургии. Обычная технология извлечения металлов из руд не позволяет широко исполь-

зовать бедные или сложные по составу руды: в результате их переработки образуются огромные скопления отходов, в атмосферу выбрасываются ядовитые газы. Биотехнология металлов основана на способности бактерий окислять минералы и переводить металлы в растворимые соединения. При окислении бактериями сульфидных минералов большинство цветных металлов и редких элементов переходит в раствор. Таким путем, например, во всем мире получают сотни тысяч тонн меди в год, причем стоимость ее в 2–3 раза ниже, чем при добыче традиционным путем. С помощью бактерий из руды извлекают уран, золото и серебро, удаляют такую вредную примесь, как мышьяк.

Микроорганизмы способны при благоприятных условиях непрерывно синтезировать белки. Ученые разработали способы внедрения в бактериальную клетку определенных генов, в том числе генов человека. Такие способы получили название *генной инженерии*. Бактериальная клетка синтезирует белок, кодируемый чужим для нее геном, в больших количествах. Так получают сейчас интерфероны — белки, подавляющие размножение вирусов, и инсулин, регулирующий уровень глюкозы в крови.

Вопросы для повторения и задания

1. Какое значение для народного хозяйства имеет селекция микроорганизмов?
2. Приведите примеры промышленного получения и использования продуктов жизнедеятельности микроорганизмов.
3. Что такое биотехнология?
4. Что такое генная инженерия?

Подумайте

Какие перспективы открываются перед человечеством при использовании микроорганизмов в сельском хозяйстве?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.





Раздел

Взаимоотношения организма и среды. Основы экологии

Животные и растения, грибы и бактерии существуют не сами по себе, независимо друг от друга, а в тесном взаимодействии — влияют на проявления жизнедеятельности одних и сами зависят от других организмов.

С момента своего появления, около 3,5 млрд лет назад, живые организмы стали оказывать значительное влияние на эволюцию земной коры и атмосферы.

Около 60 лет назад выдающийся русский ученый академик В. И. Вернадский разработал учение о биосфере — оболочке Земли, населенной живыми организмами. В. И. Вернадский выявил геологическую роль живых организмов и показал, что их деятельность представляет собой важнейший фактор преобразования минеральных оболочек планеты. Он писал: «На земной поверхности нет химической силы более постоянно действующей, а поэтому более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом». Правильнее поэтому определять биосферу как оболочку Земли, которая населена и преобразуется живыми организмами.



Биосфера, ее структура и функции

В составе биосферы различают:

- *живое вещество*, образованное совокупностью организмов;
- *биогенное вещество*, которое создается в процессе жизнедеятельности организмов (газы атмосферы, каменный уголь, нефть, известняки и др.);
- *косное вещество*, образующееся без участия живых организмов (основные породы, лава вулканов, метеориты);
- *биокосное вещество*, представляющее собой общий результат жизнедеятельности организмов и абиогенных процессов, например почвы.

Эволюция биосферы обусловлена тесно взаимосвязанными между собой тремя группами факторов: 1) развитием нашей планеты как космического тела и протекающими в ее недрах химическими преобразованиями, 2) биологической эволюцией живых организмов и 3) развитием человеческого общества. Изучение биосферы, ее свойств и закономерностей развития становится актуальной задачей нашего времени.

46. Структура биосферы

Вспомните!

- Биогенные элементы • Макроэлементы • Микроэлементы
- Свойства воды

Границы биосферы определяются факторами земной среды, которые делают невозможным существование живых организмов (рис. 116). Верхняя граница проходит примерно на высоте 20 км от поверхности планеты и отграничена слоем озона, задерживающим губительную для жизни коротковолновую часть ультрафиолетового излучения Солнца. Таким образом, живые организмы могут существовать в тропосфере и нижних слоях стратосферы. В гидросфере земной коры организмы проникают на всю

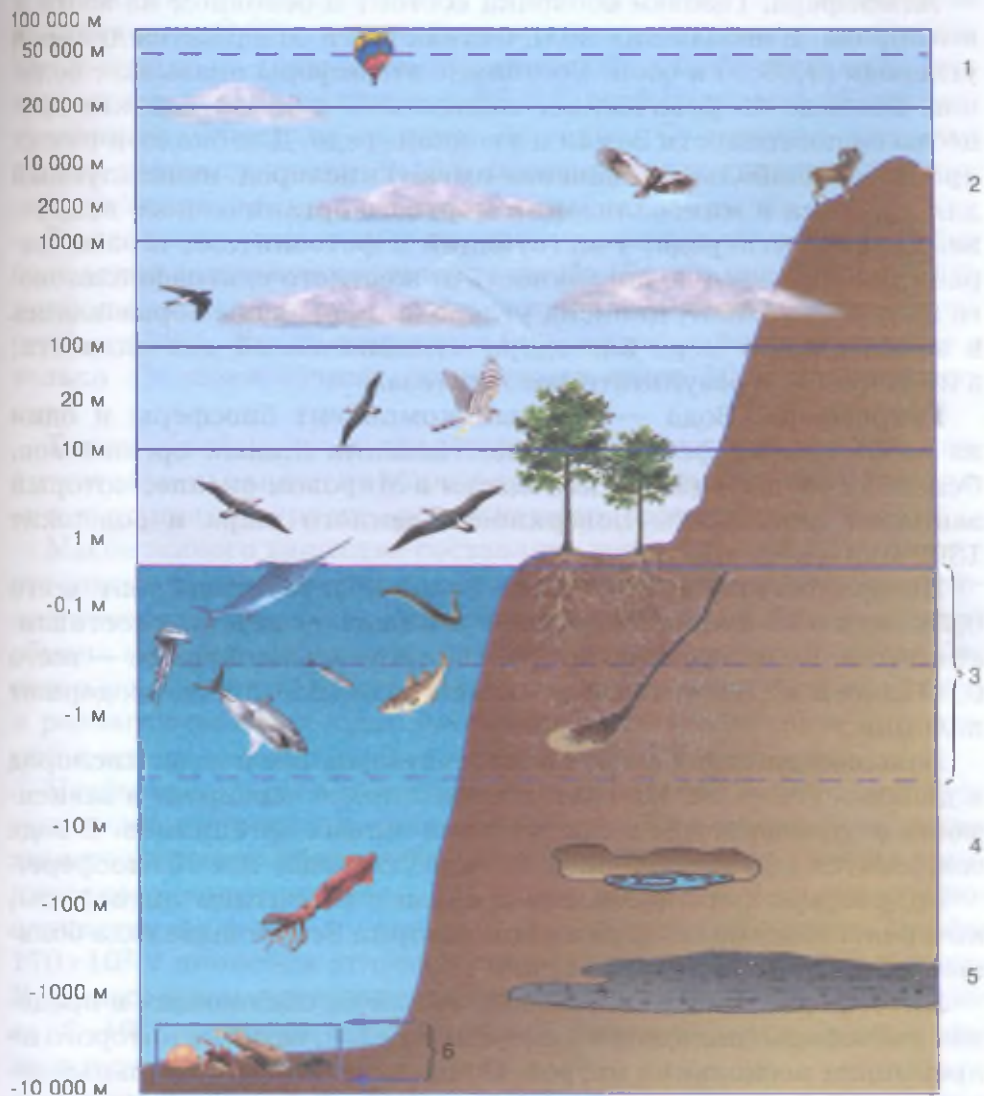


Рис. 116. Распространение организмов в биосфере: 1 — уровень озонового слоя, задерживающего жесткое ультрафиолетовое излучение, 2 — граница снегов, 3 — почва, 4 — животные, обитающие в пещерах, 5 — бактерии в нефтяных скважинах, 6 — придонные организмы

глубину Мирового океана — до 10—11 км. В литосфере жизнь встречается на глубине 3,5—7,5 км, что обусловлено температурой земных недр и уровнем проникновения воды в жидком состоянии.

Атмосфера. Газовая оболочка состоит в основном из азота и кислорода. В небольших количествах в ней содержатся диоксид углерода (0,03%) и озон. Состояние атмосферы оказывает большое влияние на физические, химические и биологические процессы на поверхности Земли и в водной среде. Для биологических процессов наибольшее значение имеют: кислород, используемый для дыхания и минерализации мертвого органического вещества, диоксид углерода, участвующий в фотосинтезе, и озон, экранирующий земную поверхность от жесткого ультрафиолетового излучения. Азот, диоксид углерода, пары воды образовались в значительной мере благодаря вулканической деятельности, а кислород — в результате фотосинтеза.

Гидросфера. Вода — важный компонент биосферы и один из необходимых факторов существования живых организмов. Основная ее часть (95%) находится в Мировом океане, который занимает около 70% поверхности земного шара и содержит 1300 млн км³ воды.

Поверхностные воды (озера, реки, болота) включают всего 0,182 млн км³, а количество воды в живых организмах составляет ничтожное количество по сравнению с этими цифрами — всего 0,001 млн км³. Значительные запасы воды (24 млн км³) содержат ледники.

Большое значение имеют газы, растворенные в воде: кислород и диоксид углерода. Их содержание широко варьирует в зависимости от температуры и присутствия живых организмов. В воде содержится в 60 раз больше диоксида углерода, чем в атмосфере.

Гидросфера формировалась в связи с развитием литосферы, которая в течение геологической истории Земли выделяла большое количество водяного пара.

Литосфера. Основная масса организмов, обитающих в пределах литосферы, находится в почвенном слое, глубина которого не превышает нескольких метров. Почва включает минеральные вещества, образующиеся при разрушении горных пород, и органические вещества — продукты жизнедеятельности организмов.

Живые организмы (живое вещество). Хотя границы биосферы довольно узки, живые организмы в их пределах распределены очень неравномерно. На большой высоте и в глубинах гидросферы и литосферы организмы встречаются относительно редко. Жизнь сосредоточена главным образом на поверхности земли, в почве и в приповерхностном слое океана.

Общая масса живых организмов — $2,43 \cdot 10^{12}$ т. Биомасса организмов, обитающих на суше, на 99,2% представлена зелеными

растениями — продуцентами (образователями) органического вещества и на 0,8% — животными и микроорганизмами. Напротив, в океане на долю растений приходится 6,3%, а на долю животных и микроорганизмов — 93,7% всей биомассы. Жизнь сосредоточена главным образом на суше. Суммарная биомасса океана составляет всего 0,13% биомассы всех существ, обитающих на Земле.

В распределении живых организмов по видовому составу наблюдается важная закономерность. Из общего числа видов 21% приходится на растения, но их вклад в суммарную биомассу составляет 99%. Среди животных 96% видов — беспозвоночные и только 4% позвоночные, из которых лишь 10% млекопитающие.

Таким образом, среди представителей животного царства в количественном отношении преобладают формы, стоящие на относительно низком уровне эволюционного развития.

Масса живого вещества составляет всего 0,01—0,02% от косного вещества биосферы, однако оно играет ведущую роль в геохимических процессах. Вещества и энергию, необходимые для обмена веществ, организмы черпают из окружающей среды. Огромные количества живой материи воссоздаются, преобразуются и разлагаются. Ежегодно благодаря жизнедеятельности растений и животных воспроизводится около 10% биомассы.

Чтобы представить масштабы геохимической деятельности организмов, приведем некоторые цифры. Ежегодная продукция живого вещества в биосфере составляет 232,5 млрд т сухого органического вещества. За это же время в процесс фотосинтеза вовлекается 46 млрд т углерода. Для этого необходимо, чтобы $170 \cdot 10^9$ т диоксида углерода прореагировало с $68 \cdot 10^9$ т воды. В процесс жизнедеятельности ежегодно вовлекаются $6 \cdot 10^9$ т азота, $2 \cdot 10^9$ т фосфора, а также калий, кальций, магний, сера, железо и другие элементы.

Живое вещество на Земле строго организовано. В настоящее время выделяют несколько уровней организации живой материи.

1. *Молекулярный.* Любая живая система, как бы сложно она ни была организована, проявляется на уровне функционирования биополимеров (сложных органических соединений, отличающихся крупными молекулами), построенных из большого количества единиц — мономеров (исходных, повторяющихся, более просто устроенных соединений). На этом уровне начинаются важнейшие процессы жизнедеятельности организма: обмен

веществ и превращение энергии, передача наследственной информации и др. Существует три типа биологических полимеров: полисахариды, белки и нуклеиновые кислоты. Их мономерами служат соответственно моносахариды, аминокислоты и нуклеотиды. Не менее важными для организма органическими соединениями являются также жиры (липиды).

2. *Клеточный.* Клетка является структурной и функциональной единицей, а также единицей развития живых организмов. Она представляет собой саморегулирующуюся, самовоспроизводящуюся живую систему. Свободноживущих неклеточных форм жизни на Земле не существует. Неклеточные формы — вирусы — неспособны к самостоятельному существованию.

3. *Тканевый.* Ткань представляет собой совокупность сходных по строению клеток и межклеточного вещества, объединенных выполнением общей функции.

4. *Органный.* Органы — это структурно-функциональные объединения нескольких типов тканей. Например, печень человека как орган включает эпителии и соединительную ткань, которые вместе выполняют целый ряд функций, в том числе синтез белков крови, желчных кислот, обезвреживание ядовитых веществ, поступающих из кишечника, накопление животного крахмала — гликогена.

5. *Организменный.* Многоклеточный организм представляет собой целостную систему органов, специализированных для выполнения различных функций. Одноклеточный организм — это целостная живая система, способная к самостоятельному существованию.

6. *Популяционно-видовой.* Совокупность организмов одного и того же вида, объединенных общим местом обитания, называется популяцией. Популяция — система надорганизменного уровня. Именно здесь протекают простейшие эволюционные преобразования.

7. *Биогеоценотический (экосистемный).* Биогеоценоз — совокупность организмов разных видов и факторов среды их обитания, объединенных обменом веществ и энергии в единый природный комплекс.

8. *Биосферный.* Биосфера — система высшего порядка. На этом уровне происходят круговорот веществ и превращение энергии, связанные с жизнедеятельностью всех живых организмов, обитающих на нашей планете.

Деятельность живых организмов служит основой круговорота веществ в природе.

? Вопросы для повторения и задания

1. Из чего состоит биосфера?
2. Охарактеризуйте оболочки Земли, в которых обитают живые организмы, — атмосферу, гидросферу, литосферу.
3. Чем определяются границы распространения живых организмов в биосфере?
4. Сравните суммарную биомассу суши и океана.
5. Какой вклад в биомассу Земли вносят растения и какой — животные?
6. Перечислите биологические полимеры, входящие в состав живых систем. Укажите их основные функции.
7. Какие уровни организации живой материи вы знаете?
8. Как взаимосвязаны различные уровни организации живой материи?

! Подумайте

1. Почему В. И. Вернадский считал живые организмы могущественной геохимической силой?
2. Какова роль газов, растворенных в водах Мирового океана, для поддержания жизни на Земле?

• Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

47. Круговорот веществ в природе

Вспомните!

• *Обмен веществ* • *Хемосинтез* • *Фотосинтез*

Главная функция биосферы заключается в обеспечении круговорота химических элементов, который выражается в циркуляции веществ между атмосферой, почвой, гидросферой и живыми организмами.

Круговорот воды. Вода испаряется и воздушными течениями переносится на большие расстояния. Выпадая на поверхность суши в виде осадков, она способствует разрушению горных пород,

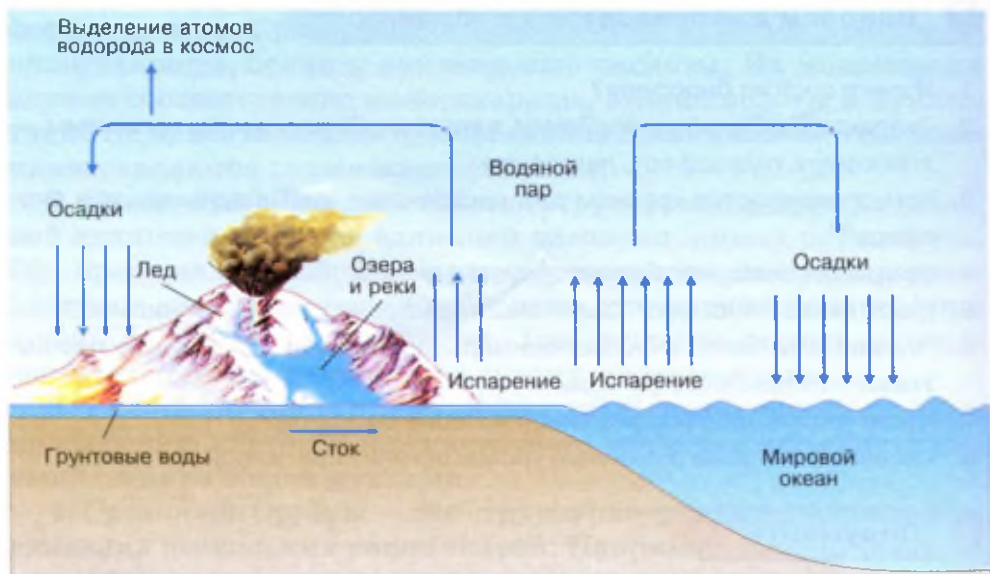


Рис. 117. Круговорот воды в биосфере

делает их доступными для растений и микроорганизмов, размывает верхний почвенный слой и уходит вместе с растворенными в ней химическими соединениями и взвешенными органическими частицами в моря и океаны (рис. 117). Циркуляция воды между океаном и сушей представляет собой важнейшее звено в поддержании жизни на Земле.

Круговорот углерода. Углерод входит в состав разнообразных органических веществ, из которых состоит все живое. В процессе фотосинтеза зеленые растения используют углерод диоксида углерода и водород воды для синтеза органических соединений, а освободившийся кислород поступает в атмосферу. Им дышат различные животные и растения, а конечный продукт дыхания — CO_2 — выделяется в атмосферу (рис. 118).

Круговорот азота. Атмосферный азот включается в круговорот благодаря деятельности азотфиксирующих бактерий и водорослей, синтезирующих нитраты, пригодные для использования растениями (рис. 119). Часть азота фиксируется в результате образования оксидов во время электрических разрядов в атмосфере. Соединения азота из почвы поступают в растения и используются для построения белков. После отмирания живых организмов гнилостные бактерии разлагают органические остатки до аммиака. Хемосинтезирующие бактерии превращают аммиак

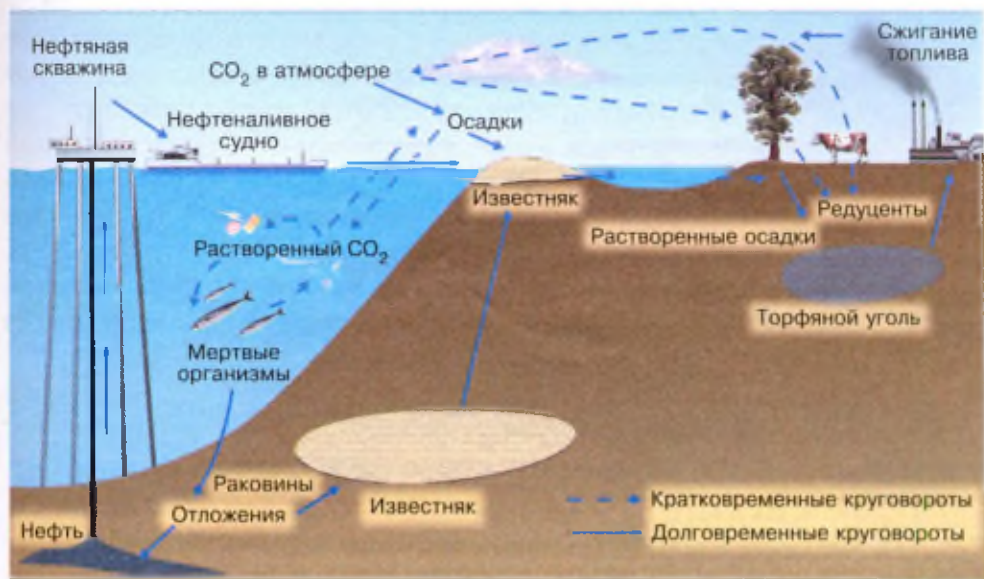


Рис. 118. Упрощенная схема круговорота углерода, показывающая прохождение углерода через несколько экосистем. Прерывистыми стрелками обозначены процессы, в которых превращения углерода протекают медленнее, а сплошными — процессы, в которых они происходят быстрее

в азотистую, затем в азотную кислоту. Некоторое количество азота, благодаря деятельности денитрифицирующих бактерий, поступает в воздух. Часть азота оседает в глубоководных отложениях и на длительный срок выключается из круговорота; эта потеря компенсируется поступлением азота в воздух с вулканическими газами.

Круговорот серы. Сера входит в состав ряда аминокислот и представляет собой жизненно важный элемент. Находящиеся глубоко в почве и в морских осадочных породах соединения серы с металлами — сульфиды — переводятся микроорганизмами в доступную форму — сульфаты, которые и поглощаются растениями. С помощью бактерий осуществляются отдельные реакции окисления — восстановления. Глубоко залегающие сульфаты восстанавливаются до H_2S , который поднимается вверх и окисляется аэробными бактериями до сульфатов. Разложение трупов животных или растений обеспечивает возврат серы в круговорот.

В результате деятельности человека движение многих веществ резко ускоряется, при этом в одних местах возникает недостаток, а в других — избыток каких-то веществ. Примером служит по-



Рис. 119. Круговорот азота. Азот — один из важнейших компонентов белков и нуклеиновых кислот — генетического материала живых организмов

выпленный выброс SO_2 в атмосферу при сжигании топлива. В окрестностях медеплавильных заводов избыток SO_2 в воздухе вызывает гибель растительности вследствие нарушения процесса фотосинтеза.



Рис. 120. Круговорот фосфора. Растения поглощают фосфор главным образом в виде фосфатов. Незначительное количество фосфора возвращается из воды в наземные экосистемы благодаря рыболовству, а также с экскрементами морских птиц

Круговорот фосфора. Фосфор сосредоточен в отложениях, образовавшихся в прошлые геологические эпохи. Постепенно он вымывается из них и попадает в экосистемы или вносится на поля как удобрение (рис. 120). Растения используют только часть этого фосфора; много его уносится реками в моря и снова отлагается в осадках. Вместе с выловленной рыбой на сушу возвращается примерно 60 тыс. т элементарного фосфора, добывается же ежегодно 1—2 млн т фосфорсодержащих пород. Хотя запасы фосфорсодержащих пород велики, в будущем придется предпринимать специальные меры для возвращения фосфора в круговорот веществ.

Вопросы для повторения и задания

1. В чем заключается главная функция биосферы?
2. Расскажите о круговороте воды в природе.
3. Какие организмы поглощают диоксид углерода из атмосферы?
4. Каким путем связанный углерод возвращается в атмосферу?
5. Опишите круговорот азота в природе.
6. Какую роль играют микроорганизмы в круговороте серы?

Подумайте

Почему именно живые организмы служат основой круговорота веществ в природе?

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

48. История формирования сообществ живых организмов

Вспомните!

• *Континенты* • *Острова* • *Климат*

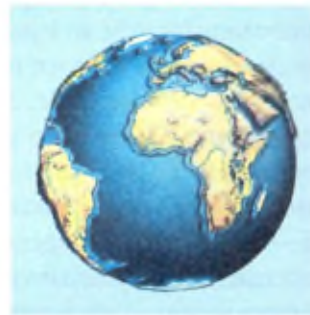
Вся суша подразделяется на крупные области, называемые материками или континентами: Евразию, Африку, Северную Америку, Южную Америку, Австралию, Антарктиду. Растительный



200 млн лет назад все материки составляли единый суперконтинент — Пангею



Впоследствии Пангея раскололась на несколько частей, которые начали медленно расходиться в стороны



Современное положение континентов

Рис. 121. Геологическая история материков

и животный мир континентов сильно различается. Чем это объяснить? Известно несколько факторов, обуславливающих несходство растительного и животного населения в тех или иных областях земного шара.

Первый из них — геологическая история материков (рис. 121). Сотни миллионов лет назад континентов не было и суша представляла собой единый массив. Около 200 млн лет назад, в триасовый период мезозойской эры, этот единый суперматерик раскололся и часть его двинулась на юг. Эта часть включала будущие Антарктиду, Австралию, Индию, Африку и Южную Америку. Продолжающиеся подвижки и разломы земной коры на протяжении юрского и мелового периодов привели к выделению отдельных континентов. Северная Америка и Евразия составляли единый материк. Такое расположение континентов сложилось к началу кайнозойской эры, т. е. около 60 млн лет назад. Изоляция материков не могла не отразиться на ходе дальнейшей эволюции животных и растений. Например, Австралия обособилась до появления плацентарных млекопитающих и сохранила до наших дней яйцекладущих и сумчатых животных, которые на других материках были вытеснены плацентарными.

В то же время фауна и флора Евразии и Северной Америки очень сходны. Это объясняется тем, что Берингов пролив на месте перешейка возник сравнительно недавно.

Второй фактор — различие климатических условий в широтном направлении. К числу важнейших показателей, характеризующих климатические условия в данной местности, относятся

температурные. Другим важным показателем служит годовое количество осадков. В зависимости от количества солнечной энергии, падающей на единицу земной поверхности, и, следовательно, температурных условий, а также от количества осадков формируются специфические сообщества растений и животных.

В высоких широтах расстилается тундра. В этой климатической зоне флора представлена лишайниками, мхами, осоками, карликовыми деревьями, кустарничками, некоторыми водорослями. Фауна бедна и включает в себя небольшое количество видов насекомых, птиц, из млекопитающих — оленей, овцебыков, росомх, песцов, леммингов. Млекопитающие и птицы появляются здесь главным образом летом вследствие сезонных миграций. В среднем в высоких широтах на 100 км² обнаруживается около 20 видов организмов, южнее, в лесотундре — 70—80 видов.

К югу от тундры располагается тайга, где хвойные (ель обыкновенная, ель сибирская, пихта сибирская) занимают огромные территории. В тайге обитает 400—500 видов на 100 км².

При более высокой среднегодовой температуре и большем количестве осадков развиваются леса умеренной зоны. Биоценозы этой зоны включают 600—700 видов растений и животных.

При уменьшении годового количества осадков и повышении летних температур возникает степь умеренной зоны. Основные компоненты ее флоры — злаки, фауна представлена в основном грызунами и копытными. Всего около 800—900 видов на 100 км².

Повышение среднегодовой температуры и значительное уменьшение количества осадков приводят к появлению пустыни. В районе экватора в условиях высоких среднегодовых температур и очень большом количестве осадков (в пределах 200—400 см в год) развиваются тропические леса, характеризующиеся наибольшим видовым разнообразием и самыми высокими показателями образования биомассы.

Третий фактор — изоляция. Это относится главным образом к островным популяциям. Острова заселяются видами, способными преодолеть морские просторы и зачастую попадающими туда случайно. Поэтому видовой состав обитателей островов значительно беднее, чем на континентах в тех же широтах.

Живые организмы не просто обитают в той или иной местности. Они находятся в постоянном взаимодействии друг с другом и с факторами неживой природы. Рассмотрите рисунок 122.

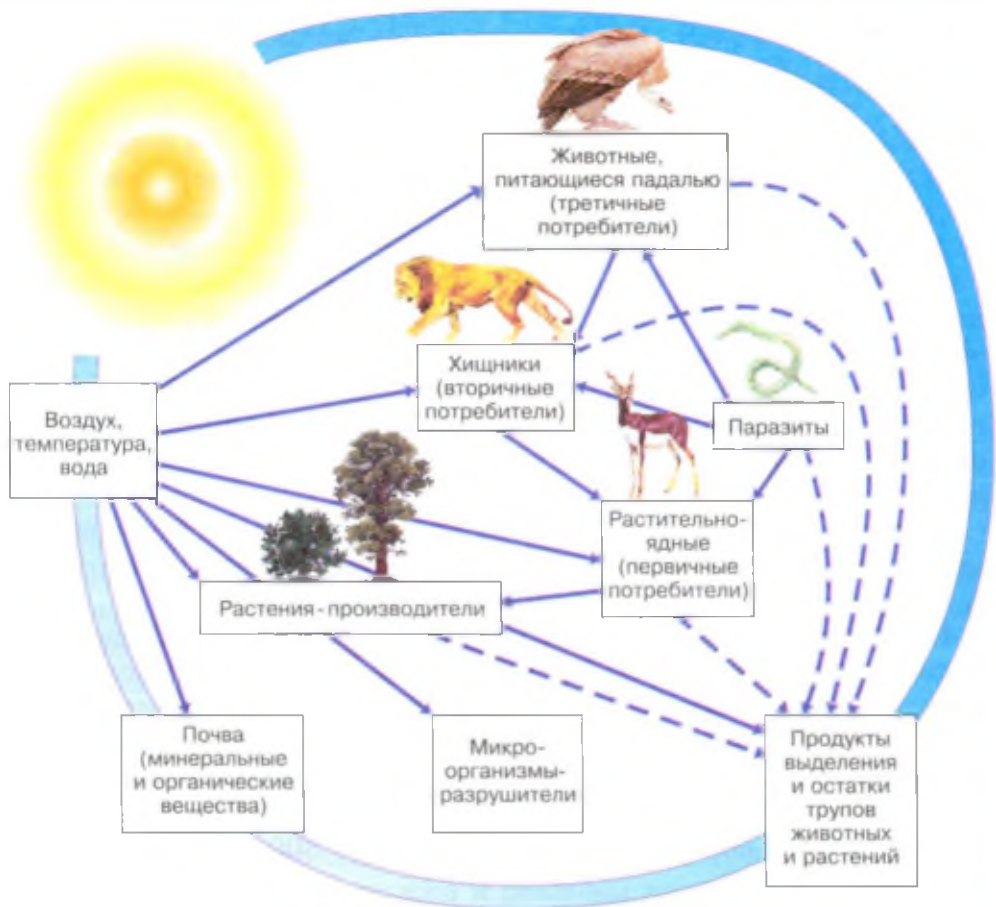


Рис. 122. Цепи питания в африканской саванне

В упрощенном виде на нем изображены возможные взаимоотношения между видами, населяющими саванну. Видовой состав данной местности определяется историческими и климатическими условиями, а взаимоотношения организмов друг с другом и с окружающей средой — характером их питания.

Основные отношения между организмами — пищевые. По типу питания все живые существа объединяют в две группы: автотрофы, использующие в качестве пищи неорганические соединения, и гетеротрофы, нуждающиеся в пище органического происхождения. *Автотрофы* — это зеленые растения и некоторые виды бактерий, *гетеротрофы* — большинство бактерий, грибы и все животные.

7 Вопросы для повторения и задания

1. Изложите историю возникновения материков.
2. Расскажите, как изоляция материков отразилась на их животном и растительном мире.
3. Приведите примеры, характеризующие своеобразие животного мира Австралии, Южной Америки и других континентов.
4. Приведите примеры, характеризующие влияние климатических условий на формирование фауны и флоры.
5. Что изучает наука экология?

! Подумайте

Какие природные факторы, определяющие численность видов живых организмов на той или иной территории, являются основными?

1 Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

49. Биogeоценозы и биоценозы

Вспомните!

- Автотрофы • Гетеротрофы • Факторы среды • Луг • Лес
- Озеро • Поле пшеницы

Биогеоценоз — это устойчивое сообщество растений, животных и микроорганизмов, находящихся в постоянном взаимодействии друг с другом и с компонентами атмосферы, гидросферы и литосферы. В это сообщество поступают энергия Солнца, минеральные вещества почвы и газы атмосферы, вода, а выделяются из него теплота, кислород, диоксид углерода, продукты жизнедеятельности организмов. Основные функции биогеоценоза — аккумуляция и перераспределение энергии и круговорот веществ.

Биогеоценоз — целостная саморегулирующаяся и самоподдерживающаяся система. Он включает следующие обязатель-

ные компоненты: 1) климатические условия, неорганические (кислород, азот, диоксид углерода, вода, минеральные соли) и органические (белки, углеводы, липиды и др.) вещества; 2) автотрофные организмы — продуценты органических веществ; 3) гетеротрофные организмы — потребители готовых органических веществ растительного (потребители первого порядка) и животного (потребители второго и следующих порядков) происхождения; к гетеротрофным организмам относятся и разрушители — деструкторы, которые разлагают остатки мертвых растений и животных, превращая их в простые минеральные соединения.

Биоценозы, в отличие от биогеоценозов, включают только взаимосвязанные между собой живые организмы, обитающие в данной местности. Они характеризуются *видовым разнообразием*, т. е. числом видов растений и животных, образующих данный биоценоз; *плотностью популяций*, т. е. числом особей данного вида, отнесенным к единице площади или к единице объема (для водных и почвенных организмов); *биомассой* — общим количеством живого органического вещества, выраженным в единицах массы.

Биомасса образуется в результате связывания солнечной энергии. Эффективность, с которой растения ассимилируют солнечную энергию, в разных биоценозах неодинакова. Суммарная продукция фотосинтеза называется *первичной продукцией*. Растительная биомасса используется потребителями первого порядка — растительноядными животными в качестве источника энергии и материала для создания биомассы. В свою очередь, эти животные служат источником энергии и материала для потребителей второго порядка — хищников и т. д. Наибольшее количество биомассы образуется в тропиках и в умеренной зоне, очень мало — в тундре и в океане. Организмы, входящие в состав биоценозов, испытывают действие факторов неживой природы (*абиотических*) и факторов живой природы (*биотических*). Рассмотрим действие этих двух групп факторов на живой организм.



Вопросы для повторения и задания

1. Что такое биогеоценозы? Назовите и охарактеризуйте как можно подробнее составляющие их компоненты.
2. Что такое биоценоз? Какие показатели его характеризуют?
3. Что такое биомасса? В результате чего она образуется?



Подумайте

1. Объясните, почему мы называем биогеоценозы саморегулирующимися системами.
2. Как могут быть связаны обитающие в одном биоценозе белка, лось и дятел?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

50. Абиотические факторы среды

Вспомните!

- *Горячие источники*
- *Водоросли снега и льда*
- *Миграции животных*
- *Теневыносливые растения*
- *Светолюбивые растения*
- *Засухоустойчивые растения*
- *Влаголюбивые растения*
- *Летняя и зимняя спячка животных*

Температура. Большинство видов приспособлено к довольно узкому диапазону температур. Некоторые организмы, особенно в стадии покоя, способны выдерживать очень низкие температуры. Например, микроорганизмы выдерживают охлаждение до $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отдельные виды бактерий и водорослей могут жить и размножаться в горячих источниках при температуре $+80\dots88\text{ }^{\circ}\text{C}$. Диапазон колебаний температуры в воде значительно меньше, чем на суше, соответственно и пределы выносливости к колебаниям температуры у водных организмов уже, чем у наземных. Хотя наземные организмы приспособились к значительным колебаниям температуры среды, оптимальная температура для их жизнедеятельности находится в сравнительно узких пределах: $15\text{—}30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Различают организмы с непостоянной температурой тела и организмы с постоянной температурой тела. Температура тела у первых зависит от температуры окружающей среды. Ее повышение вызывает у них интенсификацию жизненных процессов и ускорение (в известных пределах) развития. Это рыбы, амфибии, рептилии.

В природе температура непостоянна. Организмы, которые обычно подвергаются воздействию сезонных колебаний температур, что наблюдается в умеренных зонах, хуже переносят постоянную температуру. Резкие колебания температуры — сильные морозы или зной — также неблагоприятны для организмов. Различные виды живых организмов выработали приспособления для борьбы с охлаждением или перегревом. С наступлением зимы растения и животные с непостоянной температурой тела впадают в состояние зимнего покоя. Интенсивность обмена веществ у них резко снижается. При подготовке к зиме в тканях запасается много жиров и углеводов. Количество воды в клетках уменьшается, накапливаются сахара и глицерин, препятствующие замерзанию. Эти процессы развиваются постепенно, и морозостойкость зимующих организмов увеличивается в течение зимы. В жаркое время года, наоборот, включаются физиологические механизмы, защищающие от перегрева. У растений усиливается испарение воды через устьица (это приводит к снижению температуры листьев), а у животных — через дыхательную систему и кожные покровы.

В значительно меньшей степени зависят от температурных условий среды животные с постоянной температурой тела — птицы и млекопитающие. Ароморфные изменения строения (четырёхкамерное сердце и наличие одной дуги аорты, обеспечивающие полное разделение артериального и венозного кровотока, интенсивный обмен веществ благодаря снабжению тканей артериальной кровью, насыщенной кислородом, перьевой или волосистой покров тела, способствующий сохранению тепла, регуляция теплоотдачи кожными сосудами, хорошо развитая высшая нервная деятельность, особенно у млекопитающих) позволили представителям этих двух классов сохранять активность при очень резких перепадах температур и освоить практически все места обитания. Однако и у млекопитающих некоторые особенности строения связаны с температурными условиями. У мамонта, обитавшего в суровом климате, уши были невелики, а у африканского слона уши служат органом терморегуляции и достигают поэтому больших размеров (рис. 123).

Свет. Свет в форме солнечной радиации обеспечивает все жизненные процессы на Земле. Для организмов важны длина волны воспринимаемого излучения, его интенсивность и продолжительность воздействия. Ультрафиолетовые лучи с длиной волны более 0,3 мкм составляют 10% лучистой энергии, достигающей земной поверхности. В небольших дозах они необходимы живот-



Рис. 123. Ушные раковины млекопитающих, помимо иных функций, выполняют и терморегуляторную. Через них организм выводит избыток тепла. Чем в более жарком климате обитает животное, тем больше у него ушные раковины. 1 — индийский слон, 2 — африканский слон, 3 — мамонт

ным и человеку. Под их воздействием в организме образуется витамин D. Насекомые зрительно различают ультрафиолетовые лучи и пользуются этим для ориентации на местности в облачную погоду. Наибольшее влияние на организм оказывает видимый свет с длиной волны 0,4—0,75 мкм, чья энергия составляет около 45% общего количества лучистой энергии, падающей на Землю. Он менее всего ослабляется, проходя через плотные облака и воду. Поэтому фотосинтез может идти и при пасмурной погоде, и под слоем воды определенной толщины.

Синий (0,4—0,5 мкм) и красный (0,6—0,7 мкм) свет особенно сильно поглощается хлорофиллом.

В зависимости от условий обитания растения адаптируются к тени (*теневыносливые растения*) или, напротив, к яркому солнцу (*светолюбивые растения*). К последней группе относятся хлебные злаки. Но и у светолюбивых растений увеличение интенсивности освещения сверх оптимальной подавляет фотосинтез, поэтому в тропиках трудно получить высокие урожаи культур, богатых белком.

Влияние видимого света — яркий пример того, как живые организмы используют естественную периодичность изменения среды для распределения своих функций во времени и для программирования своих жизненных циклов таким образом, чтобы использовать самые благоприятные условия. Чрезвычайно важную роль в регуляции активности живых организмов и их развития играет продолжительность воздействия света — *фотопериод*. В умеренных зонах, выше и ниже экватора, цикл развития

растений и животных приурочен к сезонам года, и сигналом для подготовки к изменению температурных условий служит продолжительность светового дня, которая, в отличие от других сезонных факторов, в определенное время года в данном месте всегда одинакова. Фотопериод представляет собой как бы пусковой механизм, включающий физиологические процессы, последовательно приводящие к росту и цветению растений весной, плодоношению летом и сбрасыванию ими листьев осенью, а также к линьке и накоплению жира, миграции и размножению у птиц и млекопитающих, наступлению стадии покоя у насекомых. Изменение длины дня воспринимается органами зрения у животных или специальными пигментами в листьях растений.

Кроме сезонных изменений режима освещенности, смена дня и ночи определяет суточный ритм физической активности организмов, а также скорость протекания их физиологических процессов. Способность организмов ощущать время, наличие у них «биологических часов» — важное приспособление, обеспечивающее выживание особи в данных условиях среды.

Инфракрасное излучение составляет 45% от общего количества лучистой энергии, падающей на Землю. Инфракрасные лучи повышают температуру тканей растений и животных, хорошо поглощаются объектами неживой природы, в том числе водой. Так как любая поверхность, имеющая температуру выше нуля, испускает длинноволновые тепловые лучи, то растение или животное воспринимает тепловую энергию также от окружающих предметов.

Влажность. Вода — необходимый компонент клетки, поэтому количество ее в тех или иных местах обитания служит ограничивающим фактором для растений и животных и определяет характер флоры и фауны в данной местности. Избыток воды в почве приводит к развитию болотной растительности. В зависимости от влажности почвы (и годового количества осадков) видовой состав растительных сообществ меняется. Широколиственные леса южнее сменяются мелколиственными, которые переходят в лесостепь. При дальнейшем повышении сухости почвы высокотравье уступает место низкотравью, затем развивается пустынный ландшафт. Неравномерное распределение осадков по временам года также представляет собой важный ограничивающий фактор для организмов. В этом случае растениям и животным приходится переносить длительные засухи. В короткий же период увлажнения почвы происходит накопление первичной продукции для

сообщества в целом. Им определяется размер годового запаса пищи для животных и сапрофагов — организмов, разлагающих органические остатки.

В природе, как правило, существуют суточные колебания влажности воздуха, которые наряду со светом и температурой регулируют активность организмов. Влажность как экологический фактор важна и тем, что изменяет реакцию организма на температурные колебания. Температура сильнее влияет на организм, если влажность очень высока или низка. Точно так же роль влажности повышается, если температура близка к пределам выносливости данного вида. Для растений и животных, обитающих в зонах с недостаточной степенью увлажнения, характерно наличие эффективных приспособлений к неблагоприятным условиям засушливости. У растений мощно развита корневая система, повышено осмотическое давление клеточного сока, способствующее удержанию воды в тканях, утолщена кутикула листа, сильно уменьшена или превращена в колючки листовая пластинка. У некоторых растений, например у саксаула, листья утрачиваются, а фотосинтез осуществляется зелеными стеблями. При отсутствии воды рост пустынных растений прекращается, в то время как влаголюбивые растения в таких условиях увядают и гибнут. Кактусы способны запасать большие количества воды в тканях и экономно ее расходовать.

У пустынных животных также есть целый ряд физиологических приспособлений, позволяющих переносить недостаток воды. Мелкие животные — грызуны, пресмыкающиеся, членистоногие — извлекают воду из пищи. Источником воды служит и жир, накапливающийся у некоторых животных в больших количествах (горб у верблюдов). В жаркое время года многие животные (грызуны, черепахи) впадают в спячку, продолжающуюся несколько месяцев. К началу лета растения-эфемеры после кратковременного периода цветения сбрасывают листья, иногда у них полностью отмирают надземные части, сохраняют только луковицы и корневища до следующего вегетационного периода.



Вопросы для повторения и задания

1. Что такое абиотические факторы среды? Перечислите их.
2. Какую роль для жизнедеятельности организмов играют ультрафиолетовые лучи?

3. Какую часть спектра видимого излучения солнца наиболее активно поглощает хлорофилл зеленых растений?
4. Что такое теневыносливые растения? Приведите примеры.
5. Что такое светолюбивые растения? Приведите примеры.
6. Какую роль в жизнедеятельности организмов играет световой режим?
7. Какие приспособления в условиях недостатка воды развиваются у растений; у животных?



Подумайте

Какое адаптивное значение имеет у животных зимняя или летняя спячка?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

51. Интенсивность действия факторов среды

Вспомните!

- *Онтогенез* • *Угри* • *Злаки* • *Крабы* • *Рослянка*
- *Минеральные удобрения*

Изменчивость экологических факторов. Некоторые свойства среды на протяжении длительных периодов времени остаются относительно постоянными. Таковы сила тяготения, интенсивность солнечного излучения, солевой состав океана, газовый состав и свойства атмосферы. Большинство же экологических факторов — температура, влажность, интенсивность перемещения воздушных масс — ветер, количество и частота выпадения осадков, укрытия, хищники, паразиты, конкуренты и пр. — очень изменчиво как в пространстве, так и во времени. Степень изменчивости каждого из этих факторов зависит от особенностей среды обитания. Например, температура сильно колеблется на поверхности суши, но почти постоянна на дне океана или в пещерах. Паразиты живут в условиях избытка пищи, тогда как свободноживущие хищники часто испытывают голод.

Популяции организмов, обитающие в какой-то определенной среде, приспособляются к этому непостоянству путем естест-

венного отбора, у них вырабатываются те или иные морфологические и физиологические особенности, позволяющие существовать именно в этих и ни в каких других условиях. Для каждого вида существует оптимальная интенсивность действия любого фактора, называемая *зоной оптимума экологического фактора* (или просто его *оптимумом*), отклонение от которой в сторону уменьшения или увеличения угнетает жизнедеятельность данного вида. Пограничные значения фактора, за пределами которых наступает гибель организма, называют *верхним и нижним пределами выносливости*.

На организм одновременно влияют многочисленные и разнообразные факторы среды. По отношению к одним организмы обладают широким диапазоном выносливости и выдерживают значительные отклонения интенсивности фактора от оптимальной величины. Другие факторы могут меняться только в узком диапазоне, поскольку организмы выдерживают лишь небольшие отклонения их значений от оптимума. Например, для некоторых антарктических видов рыб, адаптированных к холоду, диапазон переносимых температур составляет всего 4 °С (от -2 до 2 °С). С повышением температуры до 0 °С активность обмена веществ возрастает, но при дальнейшем ее увеличении интенсивность метаболизма падает, и при 1,9 °С рыбы перестают двигаться, впадая в тепловое оцепенение. В то же время рыбы, обитающие в водоемах пустынь, свободно переносят колебания температур в диапазоне от 10 до 40 °С. Широким диапазоном выносливости к изменениям температуры обладают животные, обитающие в высоких широтах. Так, песцы в тундре могут переносить колебания температуры в пределах 80 °С (от -55 до 30 °С). Устойчивы к холодам многие сибирские растения. Так, даурская лиственница близ Верхоянска выдерживает зимние морозы до -70 °С. Растения же тропических лесов могут существовать в достаточно узких пределах изменений температуры окружающей среды: ее снижение до 5—8 °С оказывает на них губительное действие. А холодолюбивые виды зеленых и диатомовых водорослей в полярных льдах и на снежных полях высокогорий живут только при температуре около 0 °С.

По отношению к факторам среды различают виды теплолюбивые и холодолюбивые, влаго- и сухолюбивые, приспособленные к высокой или низкой солености воды. Для водных животных большое значение имеет концентрация кислорода в воде. Некоторые виды могут существовать лишь в узких пределах колебаний содержания O₂. Молодь ручьевой форели хорошо развивает-

ся при концентрации кислорода 2 мг/л; при ее снижении до 1,6 мг/л вся форель гибнет. Следовательно, для форели оптимальной является максимально возможная концентрация кислорода. Другие виды рыб — сом, карп, обитающие в застойных водах, хорошо переносят низкое содержание O_2 .

Разнится отношение организмов и к содержанию в среде химических элементов. Например, клевер растет на бедных азотом почвах. Крапива же поселяется только на почвах, богатых азотом: под деревьями в местах массового гнездования птиц, в местах скопления пищевых отходов или навоза.

На разных этапах онтогенеза организмы могут проявлять неодинаковую выносливость к тому или иному фактору. Например, у бабочки мельничной огневки — одного из вредителей муки и зерновых продуктов — критическая минимальная температура для гусениц -7°C , для взрослых форм -22 , а для яиц -27°C . Мороз в -10°C погубит гусениц, но не принесет вреда яйцам и взрослым формам.

Организмы с большим диапазоном выносливости ко всем факторам среды распространены более широко.

Взаимодействие факторов среды. Ограничивающий фактор. Отклонение интенсивности одного какого-либо фактора от оптимальной величины может сузить пределы выносливости к другому фактору. Так, например, при уменьшении количества азота в почве снижается засухоустойчивость злаков.

Фактор, находящийся в недостатке или избытке по сравнению с оптимальной величиной, называют *ограничивающим*, поскольку он делает невозможным процветание вида в данных условиях. Впервые на существование ограничивающих факторов указал немецкий химик Ю. Либих (1803—1873). Природа этих факторов неодинакова: нехватка химического элемента в почве, недостаток тепла или влаги. Ограничивающими распространение факторами могут быть и биотические отношения: занятие территории более сильным конкурентом или недостаток опылителей для растений.

Многие факторы становятся ограничивающими в период размножения. Пределы выносливости для семян, яиц, эмбрионов, личинок обычно уже, чем для взрослых растений и животных. Например, многие крабы могут заходить в реки далеко вверх по течению, но их личинки в речной воде развиваться не могут, и это кладет предел распространению вида. Ареал промысловых птиц часто определяется влиянием климата на яйца или птенцов, а не на взрослых особей.

Выявление ограничивающих факторов имеет практическое значение. Так, пшеница плохо растет на кислых почвах, а внесение в почву извести позволяет повысить урожайность.

? Вопросы для повторения и задания

1. Как называют благоприятную для организмов интенсивность действия фактора внешней среды?
2. Что называют пределом выносливости и что его определяет?
3. Что такое ограничивающий фактор?
4. Как меняется выносливость организмов к действию экологических факторов на разных стадиях онтогенеза?

! Подумайте

На примере известных вам растений и животных опишите возможные пределы их устойчивости к факторам внешней среды.

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

52. Биотические факторы среды

Вспомните!

- Царства, типы и классы живых организмов
- Автотрофы
- Гетеротрофы
- Биоценоз

Видовое разнообразие биоценозов. Каждый живой организм живет в окружении множества других, вступая с ними в самые разнообразные отношения как с положительными, так и с отрицательными для себя последствиями, и в конечном счете не может существовать без этого окружения. Связь с другими организмами обеспечивает питание и размножение, возможность защиты, смягчает неблагоприятные условия среды. В то же время биотическое окружение — это и опасность ущерба или гибели.

Рассмотрим два примера биоценозов. Весьма разнообразно население пресноводных водоемов. В неглубоких пресных водоемах — прудах, мелких озерах — солнечный свет проникает до

дна, создавая условия для развития водорослей и высших водных растений. В толще воды обитают многочисленные одноклеточные водоросли, многоклеточные нитевидные водоросли. На поверхности воды в летнее время встречаются скопления тины — это тоже водоросли. На дне некоторые водоросли образуют обширные темно-зеленые скопления. Вблизи берегов растет водяной хвощ, на поверхности воды можно встретить водяной папоротник сальвинию. Обильно представлены цветковые растения — камыш, тростник, рогоз, обитающие у берегов. На водной глади плавают листья и цветки белой кувшинки и желтой кубышки. Нередко вся поверхность прудов покрыта мелкими пластинками ряски. Часто можно встретить и другие водные растения — пузырчатку, роголистник.

Животный мир пресного водоема еще более богат и разнообразен. В воде и в иле, покрывающем дно, обитают многочисленные простейшие, мелкие рачки (циклопы), личинки насекомых, плоские черви (планарии), в грунте водоемов — свободноживущие круглые и кольчатые черви. На листьях водных растений сидят пресноводные гидры, очень многочисленны разнообразные моллюски, насекомые, например крупный хищный клоп гладыш или водяной скорпион. Наконец, в пресноводных водоемах обычно обитают растительноядные и хищные рыбы, амфибии и их личинки — головастики. Этот далеко не полный перечень обитателей водоема все же дает представление о его *видовом разнообразии*.

В состав биоценоза всегда входит очень много (до нескольких тысяч) видов самого разного уровня организации — от бактерий до позвоночных. Их взаимоотношения в первую очередь определяются пищевыми потребностями. В нашем примере одноклеточные водоросли служат пищей простейшим, низшим ракообразным — циклопам и дафниям, личинкам насекомых, фильтрующим двустворчатым моллюскам. Высшие растения поедаются растительноядными рыбами, скоблящими брюхоногими моллюсками, личинками некоторых насекомых. В свою очередь, мелкие рачки, черви, личинки насекомых служат пищей рыбам и амфибиям. Хищные рыбы охотятся на растительноядных. В воде кормятся некоторые млекопитающие, например выхухоль, питающаяся моллюсками, насекомыми и их личинками, иногда рыбой. Мертвые органические остатки падают на дно. На них развиваются бактерии, которых, в свою очередь, потребляют простейшие, фильтрующие моллюски и т. д. Таким образом, *пищевые отношения служат регулятором численности видов, входящих в биоценоз*. Столь же разнообразно население морей (рис. 124).

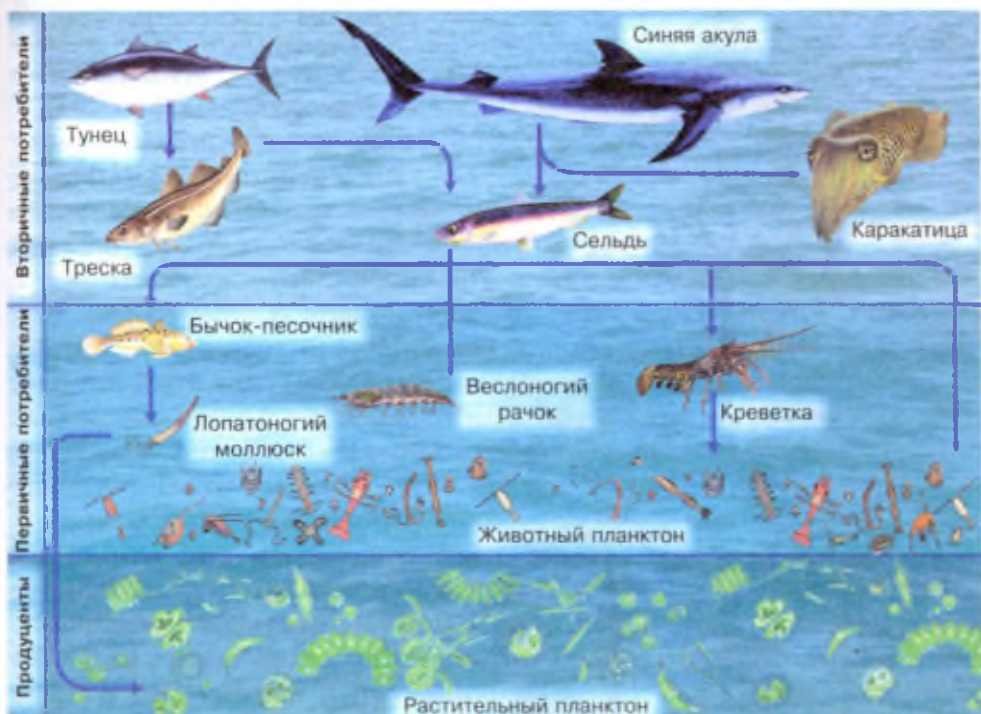


Рис. 124. Биоценоз моря. Найдите на рисунке известных вам животных и укажите их систематическое положение

Структура биоценозов. Помимо разнообразия видового состава биоценозы характеризуются сложной структурой. Рассмотрим биоценоз лиственного леса. Растения в лесу различаются по высоте их надземных частей. В связи с этим в растительных сообществах выделяют несколько «этажей», или *ярусов* (рис. 125). Первый ярус — древесный — составляют самые светолюбивые виды — дуб, липа. Второй ярус включает менее светолюбивые и более низкорослые деревья — грушу, клен, яблоню. Третий ярус состоит из кустарников — лещины, бересклета и др. Четвертый ярус — травянистый. Такими же «этажами» распределены в почве и корни растений. Ярусность позволяет растениям лучше использовать солнечный свет и минеральные запасы почвы.

В травяном ярусе в течение сезона происходит смена растительного покрова. Одни травы, называемые эфемерами, — светолюбивые медуница, хохлатка — начинают рост ранней весной, когда нет листвы на деревьях и поверхность почвы ярко освещена. Они за короткий срок успевают образовать цветки, дать пло-

Рис. 125. Ярусная структура
лиственного леса



Доминирующие деревья 60 м

Полог
30—40 м

Средний ярус
20—25 м

Кустарниковый ярус
4—6 м

Травянистый ярус
0,8 м

ды и накопить питательные вещества. Летом на их месте под покровом деревьев развиваются теневыносливые растения.

Кроме растений в лесу обитают многочисленные виды других групп организмов: в почве — бактерии, грибы, водоросли, простейшие, круглые и кольчатые (дождевые) черви, личинки насекомых (например, майского жука) и взрослые насекомые, в травяном и кустарниковом ярусах сплетают свои сети пауки. Выше, в кронах лиственных пород, обильны гусеницы пядениц, шелкопрядов, листоверток, взрослые формы жуков-листоедов, хрущей.

В очень больших количествах в лиственных лесах встречаются виды, питающиеся соком растений, — тли, червецы, клопы, а также потребители древесины.

В наземных ярусах обитают также многочисленные позвоночные — амфибии, рептилии (змеи и ящерицы), разнообразные птицы, из млекопитающих — грызуны (полевки, мыши), зайцеобразные, копытные (лоси, олени), хищники (лисица, волк); верхнюю часть почвенного яруса осваивают кроты.

Таким образом, в каждом ярусе леса поселяются многочисленные животные, основной формой взаимоотношений которых, так же как и в других биоценозах, являются пищевые отношения.

Цепи питания. *Ряд взаимосвязанных видов, из которых каждый предыдущий служит пищей последующему, носит название «цепи питания».* Цепь питания, или пищевую цепь, можно рассматривать также с точки зрения переноса энергии от ее начального звена — растений — через ряд организмов путем поедания одних видов другими. Таким образом, цепи питания — это трофические связи между видами (от греч. *трофе* — питание).

Вернемся к рисунку 122. В основе изображенных на нем цепей питания лежат зеленые растения. Зелеными растениями питаются и насекомые, и позвоночные животные, которые, в свою очередь, служат источником энергии и вещества для построения тела потребителей второго, третьего и т. д. порядков. Общая закономерность заключается в том, что количество особей, включенных в пищевую цепь, в каждом звене последовательно уменьшается и численность жертв значительно больше численности их потребителей. Это происходит потому, что в каждом звене пищевой цепи, на каждом этапе переноса энергии 80—90% ее теряется, рассеиваясь в форме теплоты. Это обстоятельство ограничивает число звеньев в цепи (обычно их бывает от трех до пяти). В среднем из 1 тыс. кг растений образуется 100 кг тела травоядных животных. Хищники, поедающие травоядных, могут построить из этого количества 10 кг своей биомассы, а вторичные хищники — только 1 кг. Например, человек съедает большую рыбу. Ее пищу составляют мелкие рыбы, потребляющие зоопланктон, который, в свою очередь, живет за счет фитопланктона, улавливающего солнечную энергию. Таким образом, для построения 1 кг тела человека требуется 10 тыс. кг фитопланктона. Следовательно, живая биомасса в каждом последующем звене цепи прогрессивно уменьшается. Эта закономерность носит название *правила экологической пирамиды* (рис. 126). Различают *пирамиду чисел*, отражающую число особей в каждом звене пищевой цепи,

Рис. 126. Упрощенная экологическая пирамида. За счет энергии света растения образуют биомассу, которая используется насекомыми для построения своего тела. Амфибии используют их для пластического и энергетического обмена, являясь, в свою очередь, источником энергии и материи для рептилий. Ими питаются хищные птицы. Вследствие потери энергии на каждой ступени количество особей прогрессивно снижается от основания к вершине пирамиды



пирамиду биомассы — количество синтезированного на каждом уровне органического вещества, *пирамиду энергии* — количество энергии в пище. Все они имеют одинаковую направленность, различаясь в абсолютном значении цифровых величин.

В реальных условиях цепи питания могут иметь разное число звеньев. Кроме того, цепи питания могут перекрещиваться, образуя *сети питания* (рис. 127). Почти все виды животных, за исключением очень специализированных в пищевом отношении, используют не один какой-нибудь источник пищи, а несколько. Если один член биоценоза выпадает из сообщества, вся система не нарушается, так как используются другие источники питания. В цепи питания «растения — заяц — лиса» всего три звена, однако лиса питается не только зайцами, но и мышами и птицами. Чем больше видовое разнообразие в биоценозе, тем он устойчивее. Общая закономерность состоит в том, что в начале пищевой цепи всегда зеленые растения, а в конце — хищники.

С каждым звеном в цепи организмы становятся крупнее, они медленнее размножаются, их число уменьшается. Особи вида, занимающего положение высшего звена, свободно размножаются, конкурируют друг с другом, но во взрослом состоянии не имеют опасных врагов и непосредственно не истребляются. Виды, составляющие низшие звенья, хотя и обеспечены питанием, но и сами интенсивно истребляются (мышей, например, поедают лисы, волки, совы). Отбор идет в направлении увеличения плодовитости. Такие организмы превращаются в кормовую базу высших животных без всяких перспектив прогрессивной эволюции.



Рис. 127. Сети питания в природной экосистеме

Другие типы отношений в биоценозе. Пищевые отношения — самый важный, но не единственный тип отношений между видами в биоценозе. Один вид может влиять на другой разными путями. Организмы могут поселяться на поверхности или внутри тела особей другого вида, могут формировать среду обитания для одного или нескольких видов, влиять на движение воздуха, температуру, освещенность окружающего пространства.

Нередко один вид участвует в распространении другого. Животные переносят семена, споры, пыльцу растений и даже других, более мелких животных. Животные могут захватывать семена растений при случайном соприкосновении, особенно если семена или соплодия имеют специальные зацепки, крючки (череда, лопух). При поедании плодов и ягод не поддающиеся полному перевариванию семена выделяются вместе с пометом. Млекопитающие, птицы и насекомые переносят на своем теле многочисленных клещей. Распространению яиц круглых червей — нематод — способствуют мухи.

Все эти многообразные связи обеспечивают возможность существования видов в биоценозе, удерживают их друг возле друга, превращая в стабильные саморегулирующиеся сообщества.



Вопросы для повторения и задания

1. Какие факторы среды называют биотическими?
2. Расскажите о видовом разнообразии обитателей пресноводного водоема. Каковы формы их взаимоотношений?
3. Опишите видовой состав и пространственную структуру биоценозов листового леса.
4. В каких отношениях находятся друг с другом обитатели биоценозов? Охарактеризуйте эти связи.
5. Что такое цепь питания и что лежит в ее основе?
6. В чем сущность правила экологической пирамиды?
7. Чем определяется устойчивость биоценозов?



Подумайте

Почему говорят, что чем богаче видами растений и животных биогеоценоз, тем он устойчивее?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

53. Взаимоотношения между организмами

Вспомните!

• Антибиотики • Микориза • Ленточные черви • Гриб трутовик • Повилика • Термиты • Волк • Сокол

Среди огромного разнообразия взаимосвязей живых существ выделяют определенные типы отношений, имеющие много общего у организмов разных систематических групп.

1. *Нейтрализм*, при котором совместно обитающие на одной территории организмы не влияют друг на друга. При нейтрализме особи разных видов не связаны друг с другом непосредствен-

но. Например, белки и лось в одном лесу не контактируют друг с другом.

2. *Симбиоз* — сожительство (от греч. *сим* — вместе, *биос* — жизнь) — форма взаимоотношений, из которых оба партнера или хотя бы один извлекают пользу.

3. *Антибиоз*, при котором обе взаимодействующие популяции или одна из них испытывают отрицательное влияние.

Симбиоз и антибиоз — существенные факторы естественного отбора, поэтому разберем эти формы взаимоотношений подробнее.

Симбиоз. В тропических морях на небольших глубинах обитают своеобразные кишечнорастворимые животные, относящиеся к коралловым полипам, — актинии. В отличие от других кораллов, они лишены твердого скелета и имеют вид небольшого цилиндра, окаймленного на верхнем конце венчиком щупалец. Как и все кораллы, актинии ведут сидячеприкрепленный образ жизни. Однако нередко можно видеть, как актинии медленно перемещаются по морскому дну. Это бывает, когда актиния поселяется на пустой раковине какого-нибудь моллюска. В раковине находит убежище рак-отшельник, прячущий в ней свое мягкое брюшко, он и «везет» на себе раковину вместе с актинией (рис. 128). Такое сожительство взаимовыгодно: перемещаясь по дну, рак увеличивает пространство, используемое актинией для ловли добычи. Часть добычи, пора-



Рис. 128. Сидящая на раковине актиния обеспечивает пищу рака-отшельника



Рис. 129. Рыба-чистильщик на мурене

женная стрекательными клетками актинии, но не подхваченная ею, падает на дно и достается раку. Польза для обоих организмов очевидна, но связь их необязательна: и рак, и актиния могут существовать самостоятельно.

Другой пример необязательной, но взаимовыгодной связи дают взаимоотношения мелких рыбок семейства губановых и крупных хищных мурен. Среди губановых имеются так называемые рыбы-чистильщики, освобождающие крупных рыб от наружных паразитов, находящихся на коже, в жаберной и ротовой полостях. Обитают губаны-чистильщики всегда в одном и том же месте. Крупные хищники, в том числе мурены, страдающие от паразитов, приплывают в места обитания губанов и дают им возможность уничтожать паразитов даже у себя во рту, хотя могли бы с легкостью их проглотить (рис. 129).

У свободноживущих организмов всегда очень много паразитов. Поэтому в некоторых случаях они становятся единственным источником пищи для чистильщиков. Известны креветки, выполняющие ту же роль, что и губаны. Рыбы, мелкие и крупные (те же мурены), приплывают к местам, где их ожидают креветки, принимают определенную позу — ложатся на бок и открывают пасть — и ждут, пока креветки не соберут паразитов с поверхности тела или в ротовой полости. Заодно с паразитами креветки выстригают клешнями поврежденные омертвевшие ткани.

Среди позвоночных животных такое явление распространено достаточно широко. Многие птицы кормятся на копытных, выбирая из их шерсти паразитов — клещей. Столь же часто птицы

выщипывают зимнюю шерсть у оленей, лосей, коров и т. д. во время линьки, используя ее при постройке гнезд.

Часто встречается такая форма взаимополезного сожительства, когда присутствие партнера становится необходимым и обязательным условием существования каждого из них. Один из самых известных примеров таких отношений — лишайники, представляющие собой сожительство гриба и водоросли.

Типичный симбиоз — отношения термитов и жгутиковых простейших, обитающих в их кишечнике. Термиты питаются древесиной, однако у них нет ферментов для переваривания целлюлозы. Жгутиконосцы вырабатывают такие ферменты и переводят клетчатку в сахар. Без простейших — симбионтов — термиты погибают от голода. Сами же жгутиковые помимо благоприятного микроклимата получают в кишечнике пищу и условия для размножения.

Симбиоз широко распространен и в растительном мире. Примером взаимовыгодных отношений служит сожительство так называемых клубеньковых бактерий и бобовых растений (гороха, фасоли, сои, клевера, люцерны, вики, белой акации, земляного ореха, или арахиса) (рис. 130). Эти бактерии, способные усваи-



Рис. 130. Подземная фабрика удобрений: клубеньки на корнях бобового растения

вать азот из воздуха и превращать его в аммиак, а затем в аминокислоты, поселяются в корнях растений, ткани которых разрастаются, образуя утолщения — клубеньки. Растения в симбиозе с азотфиксирующими бактериями могут произрастать на почвах, бедных азотом, и обогащать им почву. Вот почему бобовые — клевер, люцерну, вику — вводят в севообороты как предшественники других культур.

Другая форма симбиотических взаимоотношений у растений — сожительство гриба с корнями высших растений — *микориза* (грибокорень). На корнях березы, сосны, дуба, а также орхидных, вересковых, брусничных и многих многолетних трав мицелий гриба образует толстый слой. Корневые волоски на корнях высших растений при этом не развиваются, а вода и минеральные соли поглощаются с помощью гриба. Мицелий гриба проникает даже внутрь корня, получая от растения-партнера углеводы и доставляя ему воду и минеральные соли (рис. 131). Деревья с микоризой растут гораздо лучше, чем без нее.

Одна из широко распространенных форм симбиоза — взаимоотношения, при которых один вид получает пользу от сожительства, а другому это безразлично. В открытом океане крупных морских животных — акул, дельфинов, черепах — часто сопро-

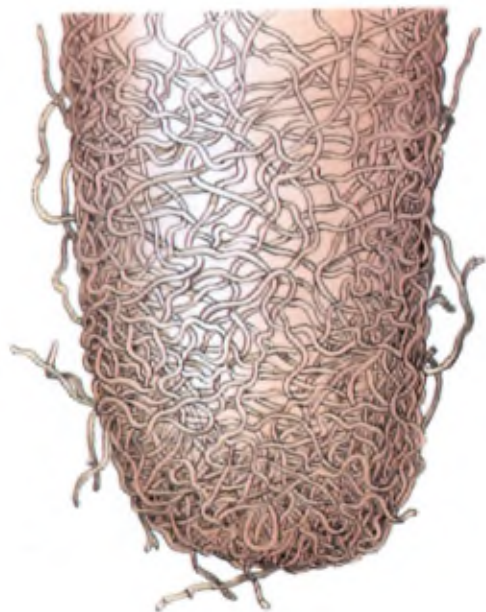


Рис. 131. Наружная микориза дуба



Рис. 132. У рыбы-прилипалы есть специальные приспособления для прикрепления к крупным морским животным



Рис. 133. Квартиранство. Самка горчака откладывает икру в мантийную полость двустворчатого моллюска беззубки

вождают небольшие рыбы — лоцманы. Лоцманы кормятся остатками пищи животных, которых они сопровождают, а также их экскрементами и паразитами. Близость к крупным хищникам защищает лоцманов от нападения. Такие отношения между видами называют *нахлебничеством*. Нахлебничество может принимать разные формы, например, гиены подбирают остатки недоеденной львами добычи.

Примером перехода нахлебничества в более тесные отношения между видами служат взаимоотношения рыбы-прилипалы (рис. 132), обитающей в тропических и субтропических морях, с акулами и китообразными. Передний спинной плавник прилипалы преобразовался в присоску, с помощью которой та прочно удерживается на поверхности тела крупной рыбы. Биологический смысл прикрепления прилипал заключается в облегчении их передвижения и расселения. Прилипалы используют крупных рыб как «извозчиков».

Гораздо чаще тела животных или места их обитания (постройки) служат убежищем для более мелких животных. Эта форма взаимоотношений получила название *квартиранство*. В полости тела голотурии, называемой также морским огурцом, находят убежище разнообразные мелкие животные. Мальки рыб прячутся под зонтиками крупных медуз, где находятся под за-

щитой щупалец, снабженных стрекательными нитями. В гнездах птиц, норах грызунов обитает огромное количество насекомых и клещей.

Особую важность приобретает использование надежных убежищ для сохранения икры или молоди. Морские рыбы карепрокты откладывают икру под панцирь краба в его жаберную полость. Отложенные на жабры икринки развиваются в идеальных условиях снабжения чистой водой. Такое же приспособление выработалось у пресноводного горчака, откладывающего икру в мантийную полость двустворчатых моллюсков — беззубок (рис. 133).

Взрослые рыбы также нередко ищут защиты у животных других видов. Мелкие кривохвостки подолгу держатся между длинными иглами морских ежей в полной безопасности от хищников.

Растения тоже используют другие виды как места обитания. Примером могут служить *эпифиты* (от греч. *эпи* — на, сверх, *фитон* — растение) — растения, поселяющиеся на деревьях. Эпифитами могут быть водоросли, лишайники, мхи, папоротники, цветковые. Древесные растения служат им местом прикрепления, но не источником питательных веществ или минеральных солей. Питаются эпифиты за счет отмирающих тканей, выделений хозяина и путем фотосинтеза. В нашей стране эпифиты представлены главным образом лишайниками и некоторыми мхами.

Антибиоз. Одна из самых распространенных форм антибиоза, имеющая большое значение в саморегуляции биоценозов, — *хищничество*. *Хищниками* называют животных (а также некоторые растения), питающихся другими животными, которых они ловят и умерщвляют (рис. 134). Объекты охоты хищников чрезвычайно разнообразны. Добывание жертвы требует много сил и энергии, охота часто оказывается неудачной. Узкая специализация, т. е. питание каким-либо одним предпочитаемым видом, поставила бы хищников в сильную зависимость от его численности. Поэтому большинство хищников может переключаться с одной добычи на другую, которая в данный момент более доступна и многочисленна. Отсутствие специализации позволяет хищникам использовать самую разную пищу. Хотя у всех хищников есть предпочитаемые виды жертв, массовое размножение непривычных, нетипичных для вида объектов охоты заставляет переключаться именно на них. Так, соколы-сапсаны обычно добывают пищу в воздухе. Но при массовом размножении леммингов соколы начинают охотиться на них, схватывая добычу с земли.



Рис. 134. Остатки пищи крупных хищников достаются птицам-падальщикам

Способность переключения с одного вида добычи на другой — одно из необходимых приспособлений в жизни хищников.

Хищничество встречается во всех крупных группах эукариотических организмов. Уже у одноклеточных поедание особей одного вида представителями другого вида — обычное явление (рис. 135). Медузы парализуют стрекательными клетками организмы, попадающие в сферу досягаемости их щупалец (у крупных форм — до 20—30 м в длину), хищные насекомые нападают на гусенца (рис. 136) и поедают их. Крупные лягушки нападают на птенцов и могут наносить серьезный ущерб разведению водоплавающей домашней птицы. Змеи охотятся на амфибий, птиц и мелких млекопитающих (рис. 137). Нередко объектами их охоты бывают не только взрослые особи, но и яйца птиц. Гнезда птиц, расположенные как на земле, так и на ветвях деревьев, буквально опустошаются змеями.

Частным случаем хищничества служит *каннибализм* — поедание особей своего вида, чаще всего молодежи. Он часто встречается у пауков (самки съедают самцов), у рыб (поедание мальков). Иногда самки млекопитающих съедают своих детенышей.

Хищничество связано с овладением сопротивляющейся и убегающей добычей. Моллюски, мыши и полевки не могут оказать

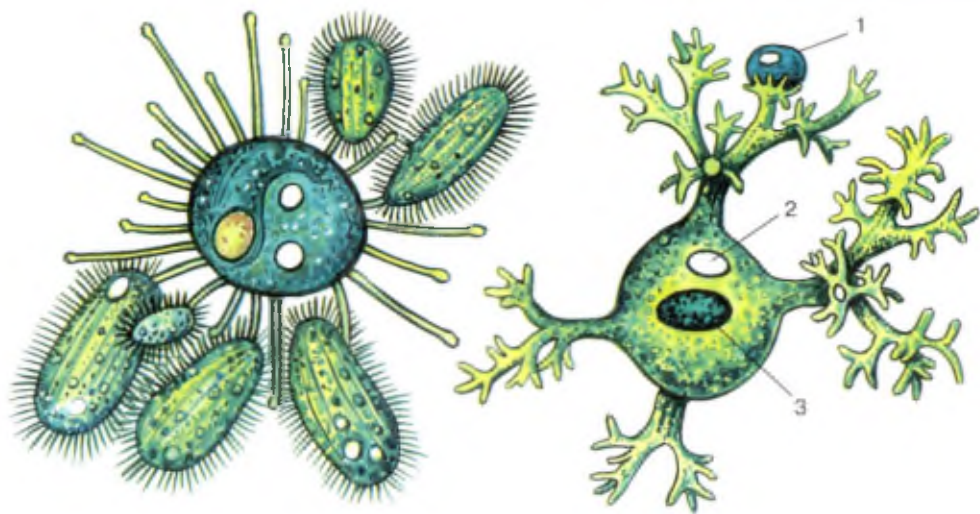


Рис. 135. Сосущая инфузория, высасывающая при помощи щупалец шесть ресничных инфузорий одновременно (слева). Сосущая инфузория (справа) с разветвленными щупальцами: 1 — пойманная ресничная инфузория, 2 — сократительная вакуоль, 3 — ядро (макронуклеус)

сопротивления хищнику. Но иногда борьба хищника и жертвы превращается в ожесточенную схватку. Поэтому естественный отбор, действующий в популяции хищников, будет увеличивать эффективность поиска, ловли и поедания добычи. Этой цели служат паутина пауков, ядовитые зубы змей, точные удары нападающих богомолов, стрекоз, змей, птиц и млекопитающих. Вырабатывается сложное поведение, например согласованные действия волков в стае при охоте на оленей и многих других копытных.

Жертвы в процессе отбора совершенствуют средства защиты и избегания хищников. Сюда относятся покровительственная окраска, различные шипы и панцирь, приспособительное поведение. При нападении хищника на стаю рыб все особи бросаются враспыльную, что увеличивает их шансы уцелеть. Напротив, скворцы, заметив сапсана, сбиваются в плотную кучу. В этом случае хищник избегает нападать на стаю, так как рискует получить увечья. Крупные копытные при нападении на них волков становятся в круг, выставив наружу рога, — занимают «круговую оборону» (рис. 138). Для волков вероятность отбить и зарезать отдельную особь в результате такого поведения стада значительно уменьшается. Поэтому они предпочитают нападать на старых или ослабленных болезнями животных, особенно отбившихся от стада.



Рис. 136. Пилюльная оса заготавливает корм для своих личинок — помещает в изготовленную ею изящную глиняную вазу гусеницу

Рис. 137. Змея заглатывает добычу целиком благодаря легко растягивающемуся связочному аппарату, соединяющему верхнюю и нижнюю челюсти



В эволюции отношений «хищник — жертва» происходит постоянное совершенствование и хищников, и их жертв.

Потребность в азоте у растений, произрастающих на бедных питательными веществами почвах, промываемых водой, приве-



Рис. 138. Овцебыки при нападении волчьей стаи образуют плотное кольцо, защищая молодяк

ла к возникновению у них очень интересного явления — хищничества. Растения, относящиеся к семейству росянковых, обладают приспособлениями для ловли насекомых. У встречающейся в России росянки крупнолистной листья собраны в прикорневую розетку. Вся верхняя сторона и края каждого листа усажены железистыми волосками. В центре листа волоски короткие, по краям — длинные. На кончике волоска — капелька липкой тягучей слизи. Мелкие мухи или муравьи садятся или вползают на лист и прилипают к нему. Насекомое бьется, пытаясь освободиться, но все волоски потревоженного листа изгибаются навстречу добыче, обволакивая ее слизью. Край листа медленно загибается, захватывая насекомое (рис. 139). Слизь, выделяемая волосками, содержит ферменты, и добыча вскоре переваривается. В тропиках росянки гораздо крупнее по размерам (до 60—100 см в высоту) и могут ловить не только насекомых (рис. 140, 141), но даже мелких позвоночных.

Организмы могут использовать другие виды не только как место обитания, но и как постоянный источник питания. Такая



Рис. 139. Схема привлечения, захвата и переваривания добычи хищными растениями

форма сожительства получила название *паразитизма*. Известно несколько десятков тысяч видов паразитических форм, из которых около 500 — паразиты человека. Рассмотрите рисунок 142. Обратите внимание на то, что паразитические организмы поражают практически все органы и ткани человека, в том числе и жизненно важные. Поэтому изучение паразитов необходимо для предупреждения и лечения заболеваний человека. Паразиты причиняют большой ущерб и сельскому хозяйству. Изучением их жизнедеятельности, путей распространения и разработкой мер борьбы с паразитарными заболеваниями занимается наука *паразитология*.

Переход вида к паразитизму резко увеличивает для него возможность выжить в борьбе за существование. Организм-хозяин служит для паразита источником питания, очень часто — местом обитания, защитой от врагов. Тело хозяина создает для живущих в нем организмов благоприятный и относительно ровный микро-



Рис. 140. Ловчие аппараты у хищных растений могут иметь разную форму: А — пузырчатка обыкновенная; Б — венерина мухоловка; В — непентес гибридный; Г — росянка круглолистная



Рис. 141. Хищное растение — венерина мухоловка. Когда насекомое касается волосков на ее складывающихся листьях, ловушка захлопывается и жертва оказывается пойманной

климат, не подверженный тем значительным колебаниям, которые всегда имеют место снаружи, во внешней среде.

Различают несколько форм паразитизма. Паразиты могут быть временными, когда организм-хозяин подвергается нападению на короткий срок, лишь на время питания. Таковы клопы, в частности постельный клоп, следующий за человеком по всему свету.

К временным паразитам относятся слепни, комары, мухи-жигалки, блохи. Нередко на одного хозяина нападает много паразитов. В этих случаях организму хозяина наносится большой ущерб, и он может погибнуть.

Паразитизм не всегда можно четко отличить от хищничества. Например, миноги, относящиеся к классу круглоротых, — европейская речная минога и минога морская — нападают на треску, лососей, корюшку, осетров и других крупных рыб и даже на китов. Присосавшись к жертве, минога питается соками ее тела в течение нескольких дней, даже недель (рис. 143). Выделения щечных желез миноги препятствуют свертыванию крови, разрушают эритроциты и вызывают распад тканей. Многие рыбы по-

гибают от нанесенных ею многочисленных ран. При массовом размножении миноги наносят большой ущерб ценным промысловым рыбам.

При более тесном контакте паразита с хозяином преимущество получают организмы, способные использовать хозяина длительное время, не приводя его к слишком ранней гибели и обеспечивая себе тем самым наилучшее существование. Паразитизм становится постоянным. К числу постоянных паразитов относятся

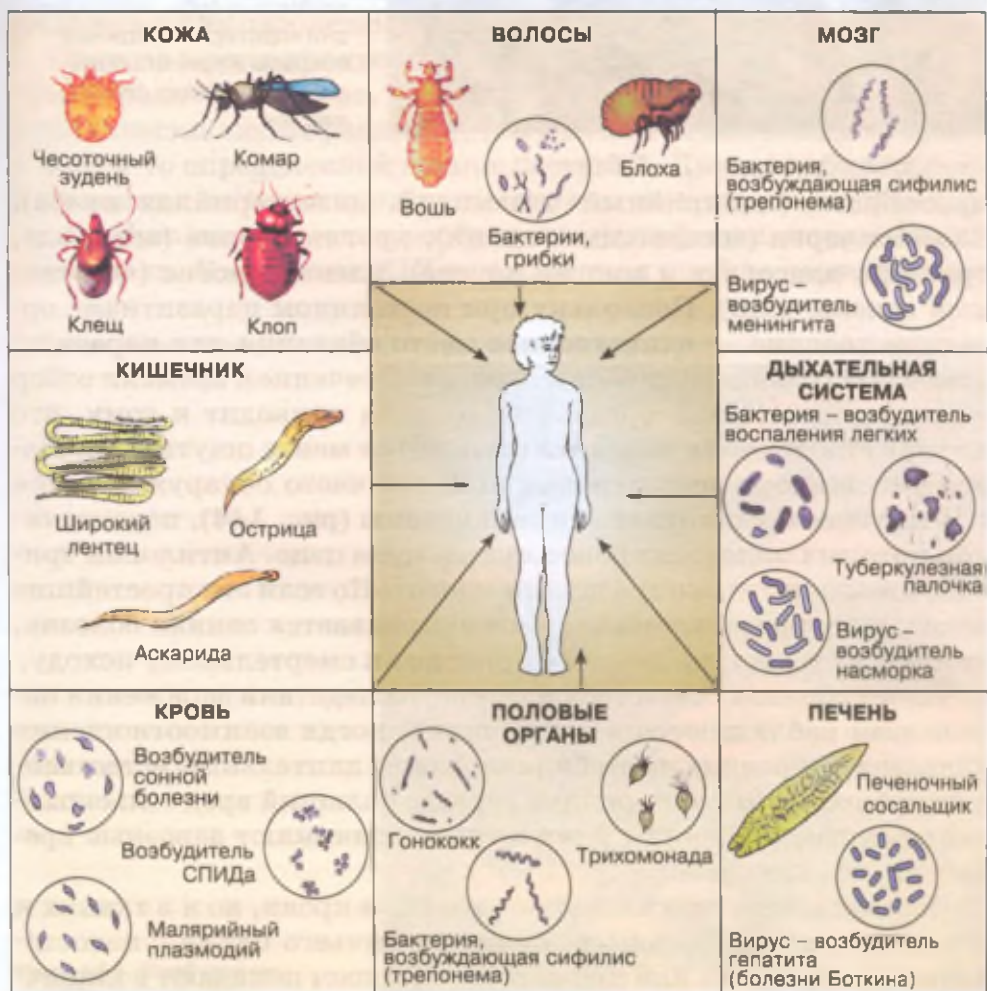


Рис. 142. Паразиты человека. Наружные паразиты — как правило, временные — располагаются на покровах тела, внутренние — чаще постоянные — обитают в полостях и тканях тела



Рис. 143. Миноги прикрепляются ротовой присоской к телу рыбы. На внутренней поверхности их ротовой полости имеются хитиновые зубы, которыми они «протирают» кожные покровы и прилегающие мышечные ткани своей жертвы

простейшие (малярийный плазмодий, дизентерийная амeba), плоские черви (сосальщики, цепни), круглые черви (аскарида, трихина, власоглав и многие другие), членистоногие (чесоточный зудень, вши). Поскольку при постоянном паразитизме организм хозяина — единственное место обитания для паразита, с гибелью хозяина погибает и паразит. С течением времени отбор на сопротивляемость организма хозяина приводит к тому, что вред от присутствия паразита становится менее ощутимым. Например, в крови африканских антилоп часто обнаруживаются жгутиковые простейшие — трипаносомы (рис. 144), переносчиком которых является кровососущая муха цеце. Антилопам трипаносомы ощутимого вреда не приносят. Но если эти простейшие попадают в кровь человека, у него развивается сонная болезнь, которая в отсутствии лечения приводит к смертельному исходу.

Таким образом, катастрофические последствия заражения паразитами наблюдаются в тех случаях, когда взаимоотношения «паразит — хозяин» не стабилизированы длительным естественным отбором. По этой причине гораздо больший вред сельскохозяйственным растениям и животным причиняют завозные вредители, чем местные.

Паразиты могут поселяться не только в крови, но и в тканях и в полостях тела. Например, личинки бычьего цепня с недостаточно проваренным или прожаренным мясом попадают в кишечник человека, где превращаются во взрослую форму длиной до 9—10 м. Цепень питается содержимым тонкого кишечника, всасывая его всей поверхностью тела и тем самым лишая хозяина

части пищи. Однако вредное влияние на организм человека связано не только с механическим воздействием паразита на кишечник и поглощением части пищи. Цепни выделяют ядовитые вещества, вызывающие общую интоксикацию организма. Ленточные черви — процветающая группа животных, ведущих исключительно паразитический образ жизни. Цикл их развития обычно сопровождается сменой хозяев.

От паразитов часто страдают и растения. Особенно широко распространены паразитические бактерии и грибы. Они поселяются на вегетативных органах древесных и травянистых растений, вызывая у них заболевания.

Одни из самых процветающих паразитов высших растений — грибы рода Фитофтора. Некоторые виды этого рода поражают практически любые растения, так как они не специализированы к какой-то определенной группе растений. Другие избирательно поселяются на кокосовых пальмах, или на томатах, или на перце. Особую известность приобрел вид фитофторы, поражающий картофель. В середине XIX в. вызванная грибом картофельная

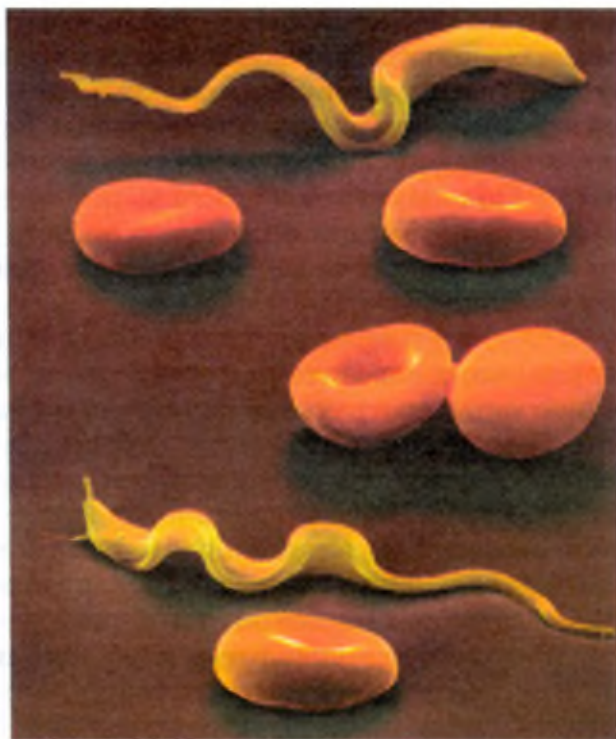


Рис. 144. Возбудители сонной болезни — трипаносомы среди эритроцитов в препарате крови

гниль распространилась по всей Европе и послужила причиной массового голода. И сейчас, несмотря на обработку посевного материала ядохимикатами и селекцию устойчивых к фитофторе сортов, наблюдаются вспышки картофельной гнили.

Другие низшие грибы — мучнисторосяные, ржавчинные и головневые — также наносят большой ущерб зерновым и другим сельскохозяйственным культурам.

Есть паразиты и среди цветковых растений. Они особенно распространены в тропиках, но нередко встречаются и в умеренной зоне. У наружных паразитов большая часть тела находится вне хозяина, а в него проникают лишь органы питания — присоски. Один из наиболее распространенных наружных паразитов — повилика, растущая на многих видах трав и кустарников. Повилка обвивается вокруг стеблей растения-хозяина, внедряясь в них присосками. Листья у повилики отсутствуют: она питается только за счет органических и минеральных веществ хозяина. На многих сельскохозяйственных растениях (подсолнечник, конопля, табак) паразитирует зарази́ха — бесхлорофилльное растение с толстым мясистым стеблем и бесцветными листьями.

Среди паразитических растений много видов, которые не утратили способности к фотосинтезу, содержат хлорофилл, а растение-хозяина используют как источник воды и минеральных солей. Такие растения называют *полупаразитами*. К ним относятся погребки, прикрепляющиеся к корням луговых трав, омела, поселяющаяся на ветвях древесных форм (липа, тополь и др.). Полупаразиты лишают хозяина значительной части минерального питания и оказывают на него иссушающее действие. Омела угнетает рост деревьев и при массовом развитии вызывает их усыхание.

В одном и том же растительном сообществе могут быть виды, пораженные паразитами и совсем не затронутые ими. В пределах одного вида часть особей также может быть свободна от паразитов. Вследствие этого конкурентоспособность растений в сообществах за свет, воду, минеральные соединения не одинакова. Среди факторов, определяющих устойчивость растений к поражению паразитами, ведущая роль принадлежит генотипу. Поэтому так важна селекционная работа, направленная на выведение сортов культурных растений, устойчивых к паразитам.

Образ жизни приводит к глубоким изменениям в строении и жизнедеятельности паразитов, служит причиной появления у них многих приспособлений к условиям существования. У пара-

зитов развиваются органы прикрепления — присоски, крючки, коготки и т. п. У кровососущих животных увеличивается вместимость пищеварительной системы за счет появления слепых выростов кишечной трубки (клещи, пиявки). Многие паразиты утрачивают отдельные органы и целые системы — органы зрения, передвижения, у них упрощается строение органов чувств. У ленточных червей, всасывающих в кишечнике хозяина питательные вещества поверхностью тела, отсутствует пищеварительная система. Растения-паразиты утрачивают различные вегетативные органы — корни, листья.

Таким образом, по сравнению со свободноживущими видами строение паразитов упрощается. Взамен утраченных органов, свойственных свободноживущим видам, сильно развивается половая система. Паразитические формы характеризуются очень высокой продуктивностью. Так, свиной цепень за сутки может выделить до 5 млн яиц. В громадном количестве образуются семена растений-паразитов, к тому же обладающие долговечностью и сохраняющие всхожесть многие годы. Все это увеличивает вероятность контакта с организмом-хозяином.

Своеобразна форма паразитизма, при которой паразит использует для питания не ткани и соки организма хозяина, а пищу, предназначенную для его потомства. Есть мухи, откладывающие яйца в гнезда одиночных ос, где личинки мух питаются парализованными гусеницами, заготавливаемыми осой для своего потомства.

Муха, готовая к откладке яиц, следует за осой, которая и «приводит» ее к своему гнезду. Дождавшись, когда оса улетит, муха проникает в гнездо и откладывает яйца. Из них сразу же вылупляются личинки, и развитие паразита совершается быстрее, чем развитие хозяина. Такая форма паразитизма получила название *гнездового*. Гнездовой паразитизм свойствен и позвоночным животным. Обыкновенная кукушка откладывает свои яйца в гнезда более 100 видов птиц, преимущественно мелких воробьиных. Кукушка откладывает по одному яйцу непосредственно в гнезда птиц другого вида в отсутствие хозяев (см. рис. 23). Она может их также отложить на землю, а потом перенести в клюве в гнездо. Птенцы паразитического вида развиваются быстрее, чем птенцы хозяина. Вылупившийся кукушонок выталкивает яйца своих хозяев, подлезая под них так, что яйцо оказывается у кукушонка на спине (рис. 145). Точно так же он поступает с птенцами, если они успевают появиться на свет. Оставшись один, птенец кукуш-



Рис. 145. Птенец кукушки выталкивает яйцо



Рис. 146. Желудочный овод: А — взрослое насекомое; Б — его личинки на внутренней стенке желудка лошади

ки получает всю пищу, приносимую приемными родителями, и быстро растет.

В тех случаях, когда паразиты поселяются в теле другого животного или человека, они зачастую оказывают неблагоприятное воздействие на хозяина. Механические повреждения причиняют личинки паразитических червей, когда они проходят через кожу или стенки сосудов или полостей. Крупные паразиты — лентецы, цепни, аскариды — могут образовывать клубки и закрывать просвет кишечника и даже вызывать разрыв его стенки.

Токсическое действие на организм хозяина оказывают продукты жизнедеятельности паразитов. Например, при выходе одноклеточных простейших — малярийных плазмодиев из эритроцитов в плазму крови туда же поступают и продукты их обмена. В результате у больного повышается температура — развивается приступ лихорадки.

Отравляющее действие паразитических червей на человека проявляется в потере аппетита, малокровии, повышенной утомляемости, бессоннице, тошноте, рвоте; у детей вызывает задержку не только физического, но и умственного развития. Паразитические черви, обитающие в кишечнике человека, поглощают много пищи, что может привести к резкому истощению больного. Это особенно относится к крупным ленточным червям — лентецам, цепням.

Нередко паразиты поселяются в теле хозяев в массовых количествах (рис. 146), что резко ослабляет животных, делая их легкой добычей хищников. В сельском хозяйстве огромный вред причиняют оводы, личинки которых паразитируют на лошадях, ослах, овцах, северных оленях. Личинки разных видов могут внедряться под кожу животных, в желудочно-кишечный тракт, вызывая образование язв в его слизистой оболочке, в носоглоточной полости.

У человека некоторые паразиты не только снижают жизнедеятельность, но зачастую приводят к инвалидности. В странах с тропическим и субтропическим климатом широко распространены круглые черви-нитчатки, получившие это название благодаря нитевидной форме тела. Они имеют 5—10 см в длину и 0,2—0,36 мм в толщину. Поселяясь в лимфатических сосудах, нитчатки могут закупоривать их просвет и тем самым нарушать отток лимфы. Объем пораженного органа резко увеличивается, достигая громадных размеров. Если закупориваются лимфатические сосуды нижних конечностей, развивается слоновость.

В практической деятельности человека большой интерес представляет использование паразитов для борьбы с переносчиками возбудителей инфекционных заболеваний или с вредителями сельского хозяйства. Существуют паразитические низшие грибы, которые поражают насекомых или их личинок. Часто встречается заболевание комнатной мухи — микоз, вызываемое грибом. В отдельные годы наблюдается массовая гибель гусениц бабочек, жуков, пораженных грибами. Особенно важно то, что такие паразиты есть и у насекомых, имеющих медицинское значение, — комаров. В настоящее время предпринимаются попытки культивирования грибов — паразитов насекомых. Достигнуты определенные успехи в снижении численности златогузки, тлей, сосновой совки путем заражения насекомых-вредителей грибами.

В биологических методах борьбы с вредителями сельского хозяйства начинают широко использовать форму паразитизма, сопровождающуюся обязательной гибелью хозяина. Известны насекомые-наездники, которые откладывают свои яйца в яйца других насекомых — капустной совки, клопов-черепашек и др., в тело взрослых тлей или гусениц различных бабочек (рис. 147, 148). Личинки наездников развиваются за счет тканей своих хозяев, которые при этом погибают. Некоторые наездники способны даже пробуривать своим длинным яйцекладом кору



Рис. 147. Самки различных видов наездников откладывают яйца в тело хозяина

Рис. 148. Наездник откладывает яйца в тлю (слева), молодой наездник выходит из тли (справа)



деревьев и древесину, откладывая яйца в личинок жуков-дровосеков. Наездников стали разводить в лабораториях и с их помощью эффективно снижать численность вредителей. Биологические методы борьбы с вредителями приобретают все большее значение и в будущем позволят сократить применение ядохимикатов в сельском хозяйстве.

Одна из форм отрицательных взаимоотношений между видами — *конкуренция*, которая возникает, если у двух близких видов сходные потребности. Если представители таких видов обитают на одной территории, они находятся в невыгодном положении: уменьшаются их возможности овладения пищевыми ресурсами, убежищами, местами для размножения и т. д. Формы конкурентного взаимодействия могут быть самыми разнообразными — от прямой физической борьбы до мирного совместного существования. Тем не менее, если организмы двух видов с одинаковыми потребностями оказываются в одном сообществе, рано или поздно один конкурент вытеснит другого. Как правило, вытесняются представители того вида, интенсивность и скорость размножения которого ниже. Эта закономерность, описанная отечественным ученым Г. Гаузе, получила название «правила

конкурентного исключения». Ч. Дарвин считал конкуренцию одной из важнейших составных частей межвидовой борьбы за существование, играющей большую роль в эволюции.

В результате конкуренции в биоценозе совместно уживаются только те виды, которые смогли разойтись в своих требованиях к условиям жизни. Например, копытные африканских саванн по-разному используют пастбищный корм: зебры обрывают верхушки трав, антилопы кормятся тем, что оставляют им зебры, выбирая при этом определенные виды растений, газели выщипывают самые низкие травы, а антилопы топпи едят сухие стебли, оставшиеся после других травоядных.

Все перечисленные формы биологических связей между видами служат регуляторами численности животных и растений в биоценозе, определяя его устойчивость.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие формы взаимоотношений между организмами вы знаете?
2. Приведите примеры симбиоза и отметьте положительные стороны такого типа взаимодействия для обоих партнеров.
3. Дайте определение хищничества и приведите примеры из животного и растительного мира.
4. Что такое паразитизм? Расскажите о разных формах паразитизма; приведите примеры.
5. К каким изменениям в строении тела и процессах жизнедеятельности приводит паразитический образ жизни?
6. Как человек использует паразитов в своей практической деятельности?

Подумайте

Приведите известные вам примеры внутривидовой и межвидовой конкуренции в природе. Постарайтесь объяснить, в чем их различие, а в чем — сходство.

Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

Биосфера и человек

Современный человек сформировался около 30—40 тыс. лет назад. С этого времени в эволюции биосферы стал действовать новый фактор — *антропогенный* (от греч. *антропос* — человек).

Первая созданная человеком культура — *палеолит* (каменный век) — продолжалась примерно 20—30 тыс. лет; она совпала с длительным периодом оледенения. Экономической основой жизни человеческого общества была охота на крупных животных: благородного и северного оленя, шерстистого носорога, осла, лошадь, мамонта, тура. На стоянках человека каменного века находят многочисленные кости диких животных — свидетельство успешной охоты.

Интенсивное истребление крупных травоядных животных привело к сравнительно быстрому сокращению их численности и исчезновению многих видов.

Если мелкие травоядные могли восполнять потери от преследования охотниками благодаря высокой рождаемости, то крупные животные в силу эволюционной истории были лишены этой возможности. Дополнительные трудности для травоядных животных возникли вследствие изменения природных условий в конце палеолита. Около 10—13 тыс. лет назад наступило резкое потепление, ледник отступил, в Европе распространились леса, вымерли крупные животные. Это создало новые условия жизни, разрушило сложившуюся экономическую базу человеческого общества. Закончился период чисто потребительского отношения к окружающей среде, характеризовавшийся только использованием пищи, уже приготовленной природой.

В следующую эпоху — неолита — наряду с охотой (на лошадь, дикую овцу, благородного оленя, кабана, зубра, козла и т. д.), рыбной ловлей и собирательством (моллюски, орехи, ягоды, плоды) все большее значение приобретает процесс производства пищи. Делаются первые попытки одомашнивания животных и разведения растений, зарождается производство керамики. Уже

9—10 тыс. лет назад существовали поселения, среди остатков которых находят пшеницу, ячмень, чечевицу, кости домашних животных — коз, овец, свиней. В разных местах Передней и Средней Азии, Кавказа, Южной Европы развиваются зачатки земледельческого и скотоводческого хозяйства. Широко используется огонь — и для уничтожения растительности в условиях подсечного земледелия, и как средство охоты. Начинается освоение минеральных ресурсов, зарождается металлургия.

Рост населения, качественный скачок в развитии науки и техники за последние два столетия, особенно в наши дни, привели к тому, что деятельность человека стала фактором планетарного масштаба, направляющей силой дальнейшей эволюции биосферы.

В. И. Вернадский считал, что влияние научной мысли и человеческого труда обусловило переход биосферы в новое состояние — *ноосферу*, сферу разума.

Сейчас человечество использует для своих нужд все большую часть территории планеты и все бóльшие количества минеральных ресурсов. Рассмотрим современное состояние биосферы и перспективы ее развития.

54. Природные ресурсы и их использование

Вспомните!

- Биогенное вещество
- Антропоценозы
- Атмосфера
- Круговорот веществ в природе

Биологические, в том числе пищевые, ресурсы планеты обуславливают возможность жизни человека на Земле, а минеральные и энергетические служат основой его материального производства.

Среди природных богатств планеты различают неисчерпаемые и исчерпаемые ресурсы.

Неисчерпаемые ресурсы. Неисчерпаемых природных ресурсов не так уж много. Они подразделяются на космические, климатические и водные. Это энергия солнечной радиации, морских волн, ветра. С учетом огромной воздушной и водной массы планеты неисчерпаемыми считают атмосферный воздух и воду. Это утверждение спорно. Например, пресную воду можно рассмат-

ривать как ресурс исчерпаемый, поскольку во многих регионах земного шара возник острый дефицит воды. Уже идет речь и о неравномерности ее распределения, и о невозможности ее использования ввиду загрязнения. Все шире распространяются способы опреснения морской воды с целью ее использования для хозяйственных нужд и для питья. Условно неисчерпаемым ресурсом считают и кислород атмосферы. Современные ученые-экологи полагают, что при современном уровне технологии использования атмосферного воздуха и воды эти ресурсы можно рассматривать как неисчерпаемые только при разработке и реализации крупномасштабных программ, направленных на их восстановление.

Исчерпаемые ресурсы делятся на возобновимые (растительный и животный мир, плодородие почв) и невозобновимые (полезные ископаемые).

В настоящее время человек вовлек в сферу своей промышленной деятельности большую часть известных минеральных ресурсов. Из земных недр извлекается все больше различных руд, каменного угля, нефти и газа. Научно-технический прогресс открывает все новые области применения черных и цветных металлов, различного неметаллического сырья. В результате расширяется разработка бедных руд, увеличивается добыча нефти со дна моря. В хозяйственный оборот вовлекаются новые территории, растет использование древесины и промысловых животных. Подвергаются обработке значительные площади суши с целью выращивания растительных продуктов питания и создания кормовой базы для животноводства.

В современных условиях значительная часть поверхности Земли распахана или представляет собой полностью или частично окультуренные пастбища для домашних животных. Развитие промышленности и сельского хозяйства потребовало больших площадей для строительства городов, промышленных предприятий, разработки полезных ископаемых, сооружения коммуникаций. Всего, таким образом, около 20% суши к настоящему времени преобразовано деятельностью человека.

Значительные площади поверхности суши исключены из хозяйственной деятельности человека вследствие накопления на них промышленных отходов и невозможности использования районов, где ведется разработка и добыча полезных ископаемых. На прилегающих территориях создаются отвалы, карьеры, терриконы — земляные конусы, провальные воронки, возникающие на местах пустот под землей (рис. 149, 150).



Рис. 149. Огромные отвалы возникают в местах земляных работ

Рис. 150. Громадные площади выводятся из хозяйственного оборота в результате открытых разработок полезных ископаемых. Такие изменения ландшафта влияют и на водный баланс

Из числа возобновимых природных ресурсов большую роль в жизни человека играет лес — важный географический и экологический фактор. Леса предотвращают эрозию почв, задерживают поверхностные воды, т. е. служат влагонакопителями, способствуют поддержанию уровня грунтовых вод. В лесах обитают животные, представляющие материальную и эстетическую ценность для человека: копытные, пушные звери и другая дичь. В нашей стране леса занимают около 760 млн га, или 33% всей ее суши, и являются одним из основных природных богатств.

Несмотря на длительную историю культурного земледелия, дикая природа продолжает служить для человека существенным источником продуктов питания. В первую очередь это рыболовство. В разных странах мира в белковом рационе человека рыба составляет от 17 до 83%. Из нее получают витамины групп D и E, кормовую муку для скота, малоценные сорта рыб перерабатывают на удобрение для полей. Около 90% рыбных богатств сосредоточено в морях. При этом большая часть приходится на материковый шельф — на прибрежные воды глубиной до 200 м, состав-

ляющие всего 8% площади Мирового океана. Населенность остальной акватории Мирового океана гораздо ниже и соответственно здесь значительно выше трудности лова.

Важный объект морского промысла — водные млекопитающие. Добыча китов составляет несколько десятков тысяч особей в год. Киты и ластоногие служат источником мяса, жира; некоторые виды добывают ради шкур с прочным и красивым мехом.

Значение диких растений и животных для человека далеко не исчерпывается пищевой и хозяйственной ценностью. Подавляющее большинство их необходимы как обязательные компоненты биоценозов, без них понятие «природа» просто утрачивает свое значение. Растения, например лекарственные, приносят человеку ощутимую пользу. Дикорастущие виды до сих пор являются исходным материалом для селекции. Среди диких животных есть виды, перспективные для одомашнивания.

Таким образом, человечество интенсивно потребляет как живые, так и минеральные природные ресурсы. Однако такое использование окружающей среды имеет свои отрицательные последствия.



Вопросы для повторения и задания

1. Как отразилась на окружающей среде деятельность первобытного человека?
2. К какому периоду развития человеческого общества относится зарождение сельскохозяйственного производства?
3. Охарактеризуйте неисчерпаемые природные ресурсы. Расскажите, как человек их использует.
4. Что такое исчерпаемые природные ресурсы?
5. Какие ресурсы называют возобновимыми?
6. Какие ресурсы относятся к невозобновимым?



Подумайте

Какие ресурсы мы относим к природным, а какие — к искусственным, созданным человеком?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

55. Последствия хозяйственной деятельности человека для окружающей среды

Вспомните!

- Сернистый ангидрид • Тетраэтилсвинец • Бензопирен • Озон
- Фреоны • Пестициды • Ионизирующая радиация
- Эрозия почвы

Степень воздействия человека на окружающую среду зависит от плотности населения. Однако при современном уровне развития производительных сил деятельность человеческого общества скажется на биосфере в целом.

Загрязнение воздуха. В процессе своей деятельности человек загрязняет воздушную среду. Над городами и промышленными районами в атмосфере возрастает концентрация газов, которые в воздухе сельской местности обычно содержатся в небольших количествах или совсем отсутствуют. Загрязненный воздух вреден для здоровья. Вредные газы, соединяясь с атмосферной влагой и выпадая в виде кислых дождей, ухудшают качество почвы и снижают урожай.

Основные причины загрязнения атмосферы — сжигание природного топлива и металлургическое производство. Если в XIX и в начале XX в. поступающие в окружающую среду продукты сгорания угля и жидкого топлива почти полностью ассимилировались растительностью Земли, то в настоящее время содержание вредных продуктов сгорания неуклонно возрастает. Из печей, топков, выхлопных труб автомобилей в воздух попадает целый ряд загрязняющих веществ. Среди них особенно выделяется сернистый ангидрид — ядовитый газ, легко растворимый в воде.

Концентрация сернистого газа в атмосфере особенно высока в окрестностях медеплавильных заводов. Он вызывает разрушение хлорофилла, недоразвитие пыльцевых зерен, засыхание и опадание листьев хвой. Каждый год в результате сжигания топлива в атмосферу поступают миллиарды тонн CO_2 . Половина диоксида углерода, образующегося при сгорании ископаемого топлива, поглощается океаном и зелеными растениями, половина остается в воздухе. Содержание CO_2 в атмосфере постепенно возрастает и за последние 100 лет увеличилось более чем на 10%. CO_2 препятствует тепловому излучению в космическое пространство, создавая так называемый парниковый эффект. Изменение

содержания CO_2 в атмосфере в значительной мере влияет на климат Земли.

Промышленные предприятия и автомобили служат причиной поступления в атмосферу многих ядовитых соединений — оксидов азота, оксида углерода, соединений свинца (каждый автомобиль выделяет за год 1 кг свинца), различных углеводородов — ацетилен, этилена, метана, пропана, толуола, бензопирена и др. Вместе с капельками воды они образуют ядовитый туман — смог, вредно действующий на организм человека, на растительность городов. Жидкие и твердые частицы (пыль), взвешенные в воздухе, уменьшают количество солнечной радиации, достигающей поверхности Земли. Так, в больших городах солнечная радиация уменьшается на 15%, ультрафиолетовое излучение — на 30% (а в зимние месяцы оно может совсем исчезнуть).

Загрязнение пресных вод. Масштабы использования водных ресурсов быстро увеличиваются. Это связано с ростом населения и улучшением санитарно-гигиенических условий жизни человека, развитием промышленности и орошаемого земледелия. Суточное потребление воды на хозяйственно-бытовые нужды в сельской местности составляет 50 л на одного человека, в городах — 150 л.

Огромное количество воды используется в промышленности. На выплавку 1 т стали необходимо 200 м^3 воды, 1 т никеля — 4000 м^3 . На производство 1 т бумаги требуется 100 м^3 воды, на изготовление 1 т синтетического волокна — от 2500 до 5000 м^3 . Промышленность поглощает 85% всей воды, расходуемой в городах, оставляя на хозяйственно-бытовые цели около 15%.

Еще больше воды необходимо для орошения. В течение года на 1 га поливных земель уходит $12\text{—}14 \text{ м}^3$ воды. В нашей стране ежегодно на орошение расходуется более 150 км^3 , в то время как на все другие нужды — около 50 км^3 .

Постоянное увеличение водопотребления на планете ведет к «водному голоду», что обуславливает необходимость разработки мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов.

В реки и озера поступают и вымываемые из почвы дождями минеральные удобрения — нитраты и фосфаты, способные в больших концентрациях резко изменять видовой состав водоемов, а также различные ядохимикаты — пестициды, используемые в сельском хозяйстве для борьбы с насекомыми-вредителями. Для аэробных организмов, обитающих в пресных водах, неблагоприятным фактором служит и сброс предприятиями теплых

вод. В теплой воде кислород плохо растворяется, и его дефицит может приводить к гибели многих организмов.

Загрязнение Мирового океана. Значительному загрязнению подвергаются воды морей и океанов. С речным стоком, а также от морского транспорта в моря поступают вредные отходы, нефтепродукты, соли тяжелых металлов, ядовитые органические соединения, в том числе пестициды. Загрязнение морей и океанов достигает таких масштабов, что в ряде случаев выловленные рыбы и моллюски оказываются непригодными для употребления в пищу. Пестициды (от лат. *pestis* — зараза и *cedere* — убивать), используемые в сельском хозяйстве для борьбы с насекомыми-вредителями, обнаружены даже в организме пингвинов, обитающих в Антарктиде.

Антропогенные изменения почвы. Плодородный слой почвы формируется очень долго. В то же время ежегодно вместе с урожаем из почвы изымаются десятки миллионов тонн азота, калия, фосфора — главных компонентов питания растений. Основной фактор плодородия почвы — перегной (гумус) — составляет в черноземах менее 5% от массы пахотного слоя. На бедных почвах перегноя еще меньше. При отсутствии пополнения почв соединениями азота его запас может быть израсходован за 50—100 лет. Этого не происходит, поскольку культурное земледелие предусматривает внесение в почву органических и неорганических (минеральных) удобрений.

Внесенные в почву азотные удобрения используются растениями на 40—50%. Остальная часть (около 20%) восстанавливается микроорганизмами до газообразных веществ — N_2 , N_2O и улетучивается в атмосферу или вымывается из почвы. Таким образом, минеральные азотные удобрения быстро расходуются, поэтому их приходится вносить ежегодно. При недостаточном применении органических и неорганических удобрений почва истощается и урожаи снижаются.

К числу антропогенных изменений почвы относится эрозия (от лат. *эрозио* — разъедание). Эрозия представляет собой разрушение и снос почвенного покрова потоками воды или ветром. Широко распространена и наиболее разрушительна водная эрозия. Она возникает на склонах и развивается при неправильной обработке земли.

Ветровая эрозия наиболее сильно проявляется в южных степных областях нашей страны. Она возникает в районах с сухой обнаженной почвой, с изреженным растительным покровом. Чрезмерный выпас скота в степях и полупустынях способствует

ветровой эрозии и быстрому разрушению травяного покрова. Для восстановления слоя почвы толщиной 1 см в естественных условиях требуется 250—300 лет. Следовательно, пыльные бури чреватые невосполнимыми потерями плодородного слоя почвы.

Значительные территории со сформированными почвами изымаются из сельскохозяйственного оборота вследствие открытого способа разработки полезных ископаемых, залегающих на небольшой глубине. Вырытые глубокие карьеры и отвалы грунта разрушают не только земли, подлежащие разработке, но и окружающие территории, при этом нарушается гидрологический режим местности, загрязняются воды, почва и атмосфера, снижается урожай сельскохозяйственных культур. В районах подземной добычи полезных ископаемых формируется провальнотерриконовый тип местности. Эти две особенности рельефа тесно связаны друг с другом: провалы образуются в результате возникновения пустот под земной поверхностью, а терриконы (земляные конусы) — в тех местах, где складывается пустая порода. Терриконы возникают не только вокруг шахт, но и около заводов, электростанций и других промышленных предприятий. Они занимают много места, сильно пылят при ветре.

Влияние человека на растительный и животный мир. Воздействие человека на живую природу складывается из прямого влияния и косвенного изменения природной среды. Одна из форм прямого воздействия на растения и животных — рубка леса.

Выборочные и санитарные рубки, регулирующие состав и качество леса и необходимые для удаления поврежденных и больных деревьев, существенно не влияют на видовой состав лесных биоценозов. Другое дело — сплошная вырубка древостоя. Оказавшись внезапно в условиях открытого местообитания, растения нижних ярусов леса испытывают неблагоприятное влияние прямого солнечного излучения. У тенелюбивых растений травянистого и кустарничкового ярусов разрушается хлорофилл, прекращается рост, а некоторые виды исчезают. На месте вырубок поселяются светолюбивые растения, устойчивые к повышенной температуре и недостатку влаги. Меняется и животный мир: виды, связанные с древостоем, исчезают или мигрируют в другие места. К вытеснению природных видов приводит и освоение земель под плантации культурных растений, т. е. создание агроценозов.

Ощутимое воздействие на состояние растительного покрова оказывает массовое посещение лесов отдыхающими и туристами, следствием чего бывают лесные пожары (рис. 151), а также вытаптывание, уплотнение почвы и ее загрязнение. Уплотнение



Рис. 151. Лесные пожары, как следствие неосторожного обращения с огнем, приводят к массовой гибели растений и животных

почвы угнетает корневую систему и приводит к засыханию растений. Вытаптывание трав нарушает существенные этапы круговорота веществ, обрекая деревья на голодание. Прямое влияние человека на животный мир заключается в истреблении видов, представляющих для него пищевую или другую материальную ценность.

Считается, что с 1600 г. человеком было истреблено более 160 видов и подвидов птиц и не менее 100 видов млекопитающих. В длинном списке исчезнувших видов значится тур — дикий бык, живший на всей территории Европы. В XVIII в. была истреблена описанная немецким натуралистом Г. В. Стеллером морская корова (стеллерова корова) — водное млекопитающее, относящееся к отряду сиреновых. Немногим более ста лет назад исчезла дикая лошадь тарпан, обитавшая на юге России. Многие виды животных находятся на грани вымирания или сохранились только в заповедниках. Такова судьба бизонов, десятками миллионов населявших прерии Северной Америки, и зубров, прежде широко распространенных в лесах Европы. На Дальнем Востоке почти полностью истреблен пятнистый олень.

На численность животных оказывает влияние и хозяйственная деятельность человека, не связанная с промыслом. Резко снизилась численность уссурийского тигра. Это произошло в результате освоения территорий в пределах его ареала и сокращения кормовой базы. В Тихом океане ежегодно погибают несколько десятков тысяч дельфинов: в период лова рыбы они попадают в сети и не могут из них выбраться. Еще недавно, до принятия рыбаками специальных мер, число погибающих в сетях дельфинов достигало сотен тысяч. Для морских млекопитающих очень неблагоприятно влияние загрязнения воды. В таких случаях запрет на отлов животных оказывается неэффективным. Например, после запрещения отлова дельфинов в Черном море их численность не восстанавливается. Причина заключается в том, что в Черное море с речной водой и через проливы из Средиземного моря поступает много ядовитых веществ. Эти вещества особенно вредны для детенышей дельфинов, высокая смертность которых и тормозит рост поголовья этих китообразных.

Исчезновение сравнительно небольшого числа видов животных и растений может показаться не очень существенным. Однако каждый вид занимает определенное место в биоценозе, в цепи питания, и заменить его не может никто; исчезновение того или иного вида ведет к уменьшению устойчивости биоценозов. Еще важнее то, что каждый вид обладает уникальными, присущими только ему свойствами. Утрата генов, определяющих эти свойства и отобранных в ходе длительной эволюции, лишает человека возможности в будущем воспользоваться ими для своих практических целей (например, для селекции).

Радиоактивное загрязнение биосферы. Проблема радиоактивного загрязнения возникла в 1945 г. после взрыва атомных бомб, сброшенных на японские города Хиросиму и Нагасаки. Испытания ядерного оружия, производимые в атмосфере до 1963 г., вызвали глобальное радиоактивное загрязнение. При взрыве атомных бомб возникает очень сильное ионизирующее излучение, радиоактивные частицы рассеиваются на большие расстояния, **заражая почву, водоемы, живые организмы.** Многие радиоактивные изотопы имеют длительный период полураспада, оставаясь опасными в течение всего времени своего существования: все они включаются в круговорот веществ, попадают в живые организмы и оказывают губительное действие на клетки. Очень опасен стронций-90 из-за своей химической близости к кальцию. Накапливаясь в костях скелета, он служит постоянным источником

облучения организма. Радиоактивный цезий (^{137}Cs) сходен с калием, его много в мышцах пораженных животных. Исследования показали, что в организме эскимосов Аляски, питающихся мясом северных оленей, содержится цезий-137.

Испытания ядерного оружия (а тем более использование этого оружия в военных целях) чреваты еще одной опасностью. При ядерном взрыве образуется громадное количество мелкой пыли, которая долго держится в атмосфере и поглощает значительную часть солнечной радиации. Расчеты отечественных ученых, подтвержденные учеными разных стран мира, показывают, что даже при ограниченном, локальном применении ядерного оружия образовавшаяся пыль будет задерживать большую часть солнечного излучения. Наступит длительное похолодание («ядерная зима»), которое неизбежно приведет к гибели всего живого на Земле.

Запылению атмосферы способствуют и выбросы заводов, фабрик и тепловых электростанций (рис. 152).

В настоящее время практически любая территория планеты от Арктики до Антарктиды подвержена многообразным антропогенным влияниям. Очень серьезный характер приобрели последствия разрушения природных биоценозов и загрязнения окру-

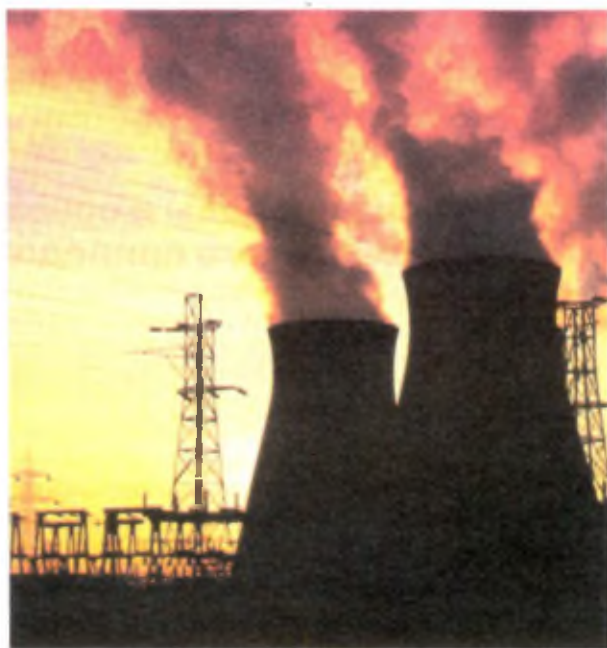


Рис. 152. Тепловые электростанции и другие предприятия, а также автомобильный транспорт сжигают ежедневно огромное количество топлива, наполняя атмосферу углекислым газом и пылью

жающей среды. Вся биосфера находится под все усиливающимся давлением деятельности человека, поэтому актуальной задачей становятся природоохранные мероприятия.



Вопросы для повторения и задания

1. Что является причиной и каковы последствия загрязнения атмосферы?
2. Каковы причины возможного возникновения недостатка воды в ряде районов мира?
3. К чему приводит загрязнение вод Мирового океана?
4. Как сказывается хозяйственная деятельность человека на структуре и плодородии почвы?
5. Каково прямое влияние человека на растительный и животный мир Земли?
6. Какие последствия влечет за собой исчезновение биологических видов?



Подумайте

Какова экологическая ситуация в вашем регионе? Назовите основные источники загрязнения окружающей среды в вашем регионе.



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.

56. Охрана природы и основы рационального природопользования

Вспомните!

- *Безотходные технологии*
- *Очистные сооружения*
- *Заповедники*
- *Красная книга*

В наши дни потребительское отношение к природе, расходование ее ресурсов без осуществления мер по их восстановлению уходят в прошлое. Проблема рационального использования природных ресурсов, охрана природы от губительных последствий хозяйственной деятельности человека приобрели огромное государствен-

ное значение. Общество в интересах настоящих и будущих поколений принимает необходимые меры для охраны и научно обоснованного, рационального использования земли и ее недр, водных ресурсов, растительного и животного мира, для сохранения чистоты воздуха и воды, обеспечения воспроизводства природных богатств и улучшения окружающей человека среды. Не будет преувеличением сказать, что охрана среды обитания людей — дело всего человечества.

Охрана природы и рациональное природопользование — проблема комплексная, и ее решение зависит как от последовательного осуществления государственных мероприятий, так и от повышения уровня научных знаний. Здесь будут рассмотрены лишь некоторые примеры, показывающие направленность и эффективность природоохранительных мер.

Для вредных веществ в атмосфере законодательно установлены предельно допустимые концентрации, не вызывающие у человека ощутимых последствий. С целью предотвращения загрязнения атмосферы разработаны мероприятия, обеспечивающие правильное сжигание топлива, переход на газифицированное теплоцентральное отопление, установку на промышленных предприятиях очистных сооружений. Помимо предохранения воздуха от загрязнения, очистные сооружения позволяют экономить сырье и возвращать в производство многие ценные продукты. Например, улавливание серы из выделяющихся газов дает возможность увеличить выпуск серной кислоты, улавливание цемента сберегает продукцию, равную производительности нескольких заводов. На алюминиевых заводах установка фильтров на трубах предотвращает выброс фтора в атмосферу.

Помимо строительства очистных сооружений, ведутся поиски технологии, при которой образование отходов было бы сведено к минимуму. Этой же цели служат улучшение конструкции автомобилей, переход на другие виды топлива (сжиженный газ, этиловый спирт), при сжигании которого образуется меньше вредных веществ. Разрабатываются модели автомобилей с электрическим двигателем для передвижения в пределах города. Большое значение имеют правильная планировка городов и зеленые насаждения. Деревья очищают воздух от взвешенных в нем жидких и твердых частиц (аэрозолей), поглощают вредные газы. Например, сернистый газ хорошо поглощают тополь, липа, клен, конский каштан; фенолы — сирень, шелковица, бузина.

Бытовые и промышленные сточные воды подвергаются механической, физико-химической и биологической обработке. Био-

логическая очистка заключается в разрушении растворенных органических веществ микроорганизмами. Воду пропускают через специальные резервуары с так называемым активным илом, который содержит микроорганизмы, окисляющие фенолы, жирные кислоты, спирты, углеводороды, нефть и т. д.

Очистка сточных вод не решает всех проблем. Поэтому все больше предприятий переходит на новую технологию — замкнутый цикл, при котором очищенная вода вновь поступает в производство. Новые технологические процессы позволяют в десятки раз сократить расход природной воды.

Охрана недр заключается прежде всего в предотвращении непроизводительных трат органических и минеральных ресурсов и комплексном их использовании. Например, много каменного угля теряется при подземных пожарах, горючий газ сгорает в факелах на нефтепромыслах. Разработка технологии комплексного извлечения металлов из руд позволяет получать дополнительно такие ценные элементы, как титан, кобальт, вольфрам, молибден и др.

Для повышения продуктивности сельского хозяйства громадное значение имеют правильная агротехника и специальные мероприятия по охране почвы. Например, борьбу с оврагами успешно ведут путем посадки растений — деревьев, кустарников, трав. Растения защищают почвы от смыва и уменьшают скорость течения воды. Окультуривание оврагов позволяет использовать их в хозяйственных целях. Посев завезенной из Америки аморфы, имеющей мощную корневую систему, не только эффективно предотвращает смыв почвы: растение еще и дает бобы, имеющие высокую кормовую ценность. Разнообразие посадок и посевов по оврагу способствует образованию стойких биоценозов. В зарослях поселяются птицы, что имеет немаловажное значение для борьбы с вредителями. Защитные лесонасаждения в степях препятствуют водной и ветровой эрозии полей.

Развитие биологических методов борьбы с вредителями позволяет резко сократить использование в сельском хозяйстве пестицидов.

В настоящее время в охране нуждаются 2000 видов растений, 236 видов млекопитающих, 287 видов птиц. Международным союзом охраны природы учреждена специальная Красная книга, в которой содержатся сведения об исчезающих видах и даются рекомендации по их сохранению. Многие виды животных, находившиеся под угрозой исчезновения, сейчас восстановили

свою численность. Это относится к лосю, сайгаку, белой цапле, гаге.

Сохранению животного и растительного мира способствует организация заповедников и заказников. Помимо охраны редких и исчезающих видов заповедники служат базой для одомашнивания диких животных, обладающих ценными хозяйственными свойствами. Заповедники служат также центрами по расселению животных, исчезнувших в данной местности; здесь решают задачи обогащения местной фауны путем завоза новых видов — *интродукции*. В России хорошо прижилась североамериканская ондатра, дающая ценный мех. В суровых условиях Арктики успешно размножается овцебык, завезенный из Канады и Аляски. Восстановлена численность бобров, почти исчезнувших в нашей стране в начале прошлого века.

Подобные примеры многочисленны. Они показывают, что бережное отношение к природе, основанное на глубоких знаниях биологии растений и животных, не только сохраняет ее, но и дает значительный экономический эффект.



Вопросы для повторения и задания

1. Зачем и почему необходимы бережное отношение к природе и ее охрана?
2. В чем преимущество использования биологических методов борьбы с вредителями сельского хозяйства?
3. Почему нельзя пить воду из источников в пределах города?
4. Какие мероприятия по защите почвы вам известны?
5. Расскажите о задачах заповедников.



Подумайте

Почему формирование экологического мышления имеет первостепенное значение для современного развития цивилизации?



Работа с компьютером

Обратитесь к диску. Изучите материал урока и выполните предложенные задания.