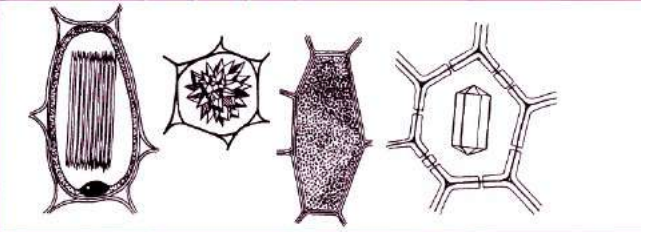
БИОЛОГИЯ

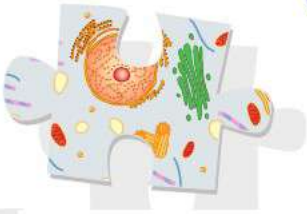
9 КЛАСС

И. Н. Пономарёва
О. А. Корнилова
Н. М. Чернова



вентана граф

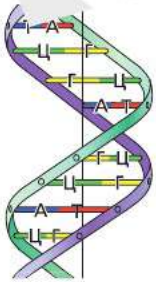
российский учебник

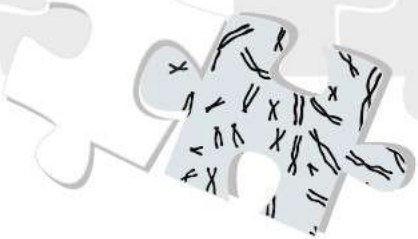


И. Н. Пономарёва
О. А. Корнилова
Н. М. Чернова

БИОЛОГИЯ

9 класс





Учебник

Рекомендовано
Министерством просвещения
Российской Федерации

Под редакцией
доктора педагогических наук,
профессора И. Н. Пономарёвой

8 -е издание, переработанное

Москва
Издательский центр
«Вентана-Граф»
2019

Как работать с учебником

Дорогие друзья!

Учебник биологии для 9 класса поможет вам получить представление о структуре живой материи, её наиболее общих законах, о многообразии жизни и истории её развития на Земле. При работе вам пригодится ваш жизненный опыт, а также знания по биологии, приобретённые в 5–8 классах.

Ознакомьтесь с оглавлением учебника — вам будет понятно его построение, расположение параграфов по главам.

Читая параграф, внимательно рассматривайте рисунки, фотографии и схемы.

Обращайте внимание на выделение терминов и понятий *светлым курсивом* — это поможет вам лучше усвоить изучаемый материал. Термины, выделенные ***полужирным курсивом***, надо запомнить.

Таким значком обозначены важные положения и выводы.

Этот значок помещён в конце каждого параграфа рядом с вопросами, предназначенными для проверки усвоенных знаний.

В конце каждой главы в цветной рамке приведён перечень основных понятий, необходимых для запоминания.

В разделе ***«Подведём итоги»*** предложены вопросы и задания, которые помогут вам развить творческое мышление, самостоятельность в поиске знаний, применении их на практике, а также оценить, насколько успешно вы усвоили новый материал.

Текст, набранный **специальным шрифтом**, запоминать необязательно. Этот материал предназначен для тех, кто хочет больше узнать о живой природе.

Для закрепления теоретического материала проводятся лабораторные работы.

В конце учебника приведён словарь терминов, который поможет вам вспомнить их значение и будет полезен при самостоятельной работе.

Глава 1

Общие закономерности жизни

Изучив главу, вы сможете характеризовать:

- предмет науки биологии;
- значение многообразия форм жизни;
- методы исследования, используемые в биологии.

Вы сумеете:

- называть общие свойства живых организмов;
- объяснять закономерности живой природы, которые изучает биология;
- определять существующие в природе биосистемы по уровню их организации.

§ 1 Биология — наука о живом мире

Вспомните

- что называют живой природой;
- что изучает биология.

Биология как наука. Биология — наука о живом мире нашей планеты. Название этой науки произошло от двух греческих слов: *bios* — «жизнь»; *logos* — «учение».

Предметом изучения биологии являются главные закономерности в проявлениях жизни: строение, функции живых организмов, видов и природных сообществ; распространение, происхождение и развитие, связи организмов (и видов) друг с другом и с окружающей средой.

Биология, как и любая наука, представляет собой особую отрасль культуры общества, способ познания окружающего мира и применения знаний на пользу человечества. Наука всегда связана с исследованием, с деятельностью, направленной на поиск новых знаний, многие из которых непосредственно участвуют в создании благоприятных условий для прогресса во всех областях существования и деятельности общества.

Исследование природы началось на самых ранних этапах развития человечества — оно обеспечивало людям выживание. Им необходимо

было знать, какие растения, животные, грибы опасны или ядовиты, какие могут быть использованы в пищу, чем лечиться, из чего изготовлять одежду, охотничьи приспособления и другие орудия труда, из чего лучше строить жильё. Эти знания люди запоминали, передавали из поколения в поколение, позднее начали составлять списки полезных растений и животных, характеризовать их свойства, указывать места обитания, особенности использования, способы их выращивания — *культивирования*.

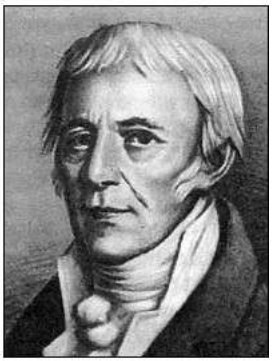
Из литературных памятников древних египтян, вавилонян, евреев, индийцев, китайцев известно, что уже в то время люди многое знали о строении растений и животных, применяли эти знания в медицине и сельском хозяйстве. Например, на клинописных табличках (XIV в. до н. э.), найденных в Месопотамии, есть сведения о различных растениях и животных, о делении животных на плотоядных и травоядных, а растений — на деревья, овощи и лекарственные травы. В древнеиндийских памятниках «Махабхарата» и «Рамаяна» (VI–II вв. до н. э.) говорится о повадках и образе жизни более 50 видов животных и о свойствах многих растений. В рукописных книгах древнего Вавилона есть описания способов обработки земли, указывается время посева различных культурных растений, перечисляются животные — вредители урожая.

Исследование живой природы всегда было условием выживания людей. Но уже в VI–V вв. до н. э. формируется научный подход к изучению природы. Трудами Платона, Аристотеля, Теофраста, Гиппократа, Плиния было обосновано значение знаний о природе и положено начало ботанике, зоологии, агрономии, медицине.

Первой энциклопедией, содержащей сведения о природе, можно считать 37-томный труд римского писателя и учёного Плиния Старшего (I в. н. э.) «Естественная история». В этой работе изложены многочисленные сведения о растениях и животных (культурных и диких).

В работе Плиния Старшего и в последующих трудах по естественной истории помимо достоверных сведений о растениях и животных содержалось много вымышленных, поскольку методы биологических исследований были ещё несовершенны и сводились в основном к описанию и систематизации наблюдаемых природных явлений. Естественной историей с того времени вплоть до XIX в. стала именоваться область знаний о живой природе.

Термин «биология» впервые был употреблён в 1779 г. немецким профессором анатомии Т. Рузом. В 1802 г. французский натуралист Ж.Б. Ламарк предложил использовать этот термин для обозначения науки, изучающей живые организмы.



Жан Батист Ламарк (1744–1829)

Современная биология. В настоящее время биология представляет собой комплексную науку, состоящую из ряда самостоятельных научных дисциплин со своими объектами исследования. Это позволяет рассматривать биологию как целостную *систему биологических наук*. Так, растения изучает *ботаника*, животных — *зоология*, анатомо-физиологические свойства человека — *биология человека*, бактерий — *микробиология*, вирусы — *вирусология*, грибы — *микология*, классификацию организмов по родственным группам (таксонам) — *систематика*, клетку — *цитология*, наследственность и изменчивость организмов — *генетика*, взаимоотношения организмов и среды — *экология*.

Наиболее тесно биология связана с потребностями человека в пищевых продуктах и лекарствах, в безопасной для жизни среде. В связи с этим в системе биологических наук происходит интенсивное развитие *медицины*, *агрономии*, *животноводства*, *селекции*, *биотехнологии*, *гигиены* и *охраны природы*. Осуществляется обогащение биологии методами и технологиями других наук (физики, химии, географии, экономики и др.), открытиями в различных областях человеческой деятельности. Практические запросы людей определяют новые направления дальнейшего развития биологии как науки и как практической области знаний.

Знание биологии важно для решения проблем сохранения окружающей среды, природных ресурсов и биологического разнообразия, улучшения здоровья людей, обеспечения устойчивого развития природы и общества.

В настоящее время общество вступило в эпоху постиндустриального и информационного развития, когда основой прогрессивного существования человечества служат *знания*. Знания стали основным условием развития личности, обеспечивающим ей гарантию успешной реализации своих возможностей в жизни. Приобретение знаний в области биологии обеспечивает не только общеобразовательный, но и мировоззренческий, природосообразный и культурологический менталитет современного человека.

Наступило время, когда от каждого из нас зависит будущее нашей планеты. Поэтому современный человек не может считать себя образованным, если он не знаком с основами биологических знаний.

1. Объясните, почему биология, будучи одной из древнейших наук, необходима современному человеку.

2. Докажите, что биология — наука, взаимодействующая с практикой.

3. Поясните различия между естественной историей и биологией.

4. Вы уже изучили ботанику, зоологию, биологию человека. На какое содержание предмета биологии вас ориентирует название данного учебного курса?

§ 2 Методы биологических исследований

Вспомните

- кто ввёл в науку термин «биология»;
- почему биологию считают системой биологических наук.

Понятие о методе исследования. Исследование в биологии представляет собой научное изучение того или иного объекта живой природы. На основании исследований открываются интересные факты о свойствах живых объектов природы, определяются границы их распространения, прослеживаются особенности природных процессов и явлений и состояние условий существования организмов в среде обитания. С опорой на обобщение фактов вскрываются закономерности, выстраиваются гипотезы и теории. При выполнении всех этих действий люди используют методы биологических исследований.

Метод исследования — это способ достижения цели.

Любой метод исследования представляет собой совокупность действий, помогающих достижению искомых результатов. В биологии, как и в других науках, применяют общие и частные методы исследования. К общим методам, широко используемым в биологии, относят: наблюдение, описание, измерение, сравнение, эксперимент, моделирование.

Ранее других в биологических исследованиях стали применять наблюдение и описание. В настоящее время изучение любого живого объекта включает, как правило, все вышеназванные методы.

Исследование может проводиться непосредственно в природе — «в поле» или в специально оборудованном помещении — лаборатории. В соответствии с местом и условиями проведения исследований их называют *полевыми* или *лабораторными*.

Многообразие методов биологических исследований. ***Наблюдение*** — активное, целенаправленное слежение за объектом исследования, при котором наблюдатель отмечает внешний вид, различные свойства изучаемого объекта, его поведение и т. д. В полевых условиях, например, орнитологи часами наблюдают за гнездом, в котором птицы выкармливают птенцов. Ботаники регулярно отмечают сроки появления листьев весной и их опадания осенью, состояние почек возобновления на побегах. В лабораториях учёные также могут проводить разнообразные наблюдения, например следить за тем, как растут и развиваются живые организмы в условиях искусственного содержания.

Описание — это фиксация результатов наблюдения. Описание часто сопровождается применением метода *измерения*.

Измерение — это установление размеров объекта — его длины, ширины, например площади территории, занимаемой биологическим видом. Сюда относится также определение количества параметров, характеризующих изучаемый объект, например количества листьев на побеге, яиц и птенцов в гнезде, численности особей в популяции. Описание и измерение требуются для того, чтобы в доступной форме отразить результаты собственных наблюдений.

Сравнение позволяет проанализировать сходства и различия изучаемых объектов, а также возможные изменения их состояния.

Эксперимент, или ***опыт***, — создание искусственной ситуации для изучаемого объекта. При этом важно, чтобы в опыте одновременно участвовали экспериментальные и контрольные организмы одного вида, иначе очень сложно оценить результаты проведённых исследований. Например, перед посадкой картофеля часть клубней (экспериментальная) обрабатывают слабым раствором стимулятора роста (например, янтарной кислотой), а другую часть (контрольная) оставляют необработанной. После сбора урожая все клубни взвешивают и сравнивают их массу. Результат проведённого опыта легко оценить, сравнив массу экспериментальных и контрольных клубней.

При постановке эксперимента необходимо продумать все его детали, чтобы исключить побочное воздействие различных факторов. Например, в первых опытах по изучению поведения муравьёв учёные пытались выявить, насколько хорошо они помнят пройденный путь. Однако исследователи обнаружили, что муравьи оставляют на пройденных тропинках запаховые метки и по ним легко находят обратную дорогу. Позже этот факт в эксперименте учитывался, и ошибка была исправлена.

Моделирование — процесс исследования объектов на их моделях. Этот метод стал особенно востребованным с появлением современных компьютеров, так как появилась возможность создавать компьютерные модели труднодоступных биологических объектов и проводить на них виртуальные эксперименты. Результаты, полученные методами моделирования, обязательно должны быть проверены методами эксперимента, чтобы доказать их достоверность.

В биологии нередко используется *исторический метод* — изучение процессов развития живой природы, изменения общих биологических явлений во времени, в том числе исследование процесса эволюции на Земле.

К общенаучным методам исследования относят *анализ* (разделение целостного на части), *синтез* (объединение частей в единое целое), *обобщение*, *классификацию* (ранжирование фактов, таксонов), *систематизацию* (упорядочение полученных результатов) и *стати-*

Рис. 1. Микроскопы: светооптический *(1)* и электронный *(2)*

стику (анализ массовых явлений и фактов, основанный на теории вероятностей).

Современная биология широко использует методы исследования, применяемые в области физики, химии, геологии и других наук, в том числе специальную технику.

Так, для изучения клетки существуют специально разработанные приёмы проведения наблюдений, измерений, выполнения экспериментов и др. Этот метод называют *микроскопией*. Он предусматривает не только применение световых и электронных микроскопов, но и подготовку материала для исследований — изготовление тонких срезов тканей и клеток, специальное окрашивание препаратов (рис. 1).

Много ценной информации биологам и экологам дают методы *фотографирования* и *видеосъёмки* (рис. 2, *1*). Широко используется *мечение* животных специальными метками: кольцевание птиц (рис. 2, *2*), мечение рыб, морских черепах, китов и др. Оно помогает учёным узнать о миграциях (перемещениях) этих животных, о продолжительности их жизни. Человек, повстречавший окольцованную дикую птицу или другое помеченное животное, должен сообщить об этом зоологам.

Многообразие биологических методов обусловлено развитием биологии. В то же время они также обогащают науку, раздвигают рамки возможного познания свойств живой природы.

Биология входит в число фундаментальных наук, её выводы имеют большое теоретическое и практическое значение. Поэтому биологические

1

2

Рис. 2. Проведение видеосъёмки *(1)*; кольцевание птиц *(2)*

знания необходимы не только отдельному человеку, они важны для обеспечения устойчивого развития природы и всего человечества.

?

1. В чём состоит ценность метода сравнения для научных исследований?
2. Укажите различие между наблюдением и экспериментом.
3. С какими методами биологических исследований вы уже встречались в своей жизни?
4. Какого исследователя-биолога называют «полевиком»?
5. Подумайте и обсудите каким образом учёные могут исключить побочные действия различных факторов на результаты эксперимента.

§ 3 Общие свойства живых организмов

Вспомните

- по каким признакам живые организмы отличаются от неживых объектов;
- какие методы применяют для раскрытия закономерностей жизни.

Живой мир Земли представлен огромным разнообразием живых организмов — бактерий, растений, грибов, животных. Человек — тоже часть живой природы, живое существо, представитель биологического вида *Homo sapiens — Человек разумный*. Все формы жизни уникальны. Исторически возникшее ***биологическое разнообразие*** форм жизни на нашей планете — важнейшее свойство и ценность живой природы. В то же время у всех форм живого много общего, отличающего живую природу от

неживой, что может служить свидетельством единства происхождения живой материи.

Определяя отличия живой природы от неживой, часто называют такие особенности живых существ, как питание, дыхание, размножение, выделение, подвижность, раздражимость, приспособленность, рост и развитие. В этих особенностях проявляются ***общие свойства живого***. Какие же это свойства?

1. Особый химический состав. В организмах и их клетках содержатся те же химические элементы, что и в телах неживой природы, хотя и в разных соотношениях. Это свидетельствует о единстве живой и неживой природы. Отличием является то, что в клетках живых организмов есть органические вещества — *углеводы*, *белки*, *жиры* и *нуклеиновые кислоты*, образующие упорядоченные структуры. Их нет у тел неживой природы. Только находясь в клетке, органические вещества обеспечивают проявления жизни.

Важнейшую роль в жизни организмов играют нуклеиновые кислоты и белки. Их функционирование в клетках обеспечивает саморегуляцию всех процессов жизнедеятельности организма, его самовоспроизведение, а значит, и само явление «жизнь».

Углеводы, белки, жиры и нуклеиновые кислоты — основные компоненты живого.

2. Клеточное строение. Основной структурной и функциональной единицей почти всех живых организмов является *клетка*. Исключение составляет лишь неклеточная форма жизни — вирусы. Клетки многоклеточных организмов, в отличие от свободноживущих клеток, специализированы — из них образованы различные ткани, органы и системы органов (рис. 3).

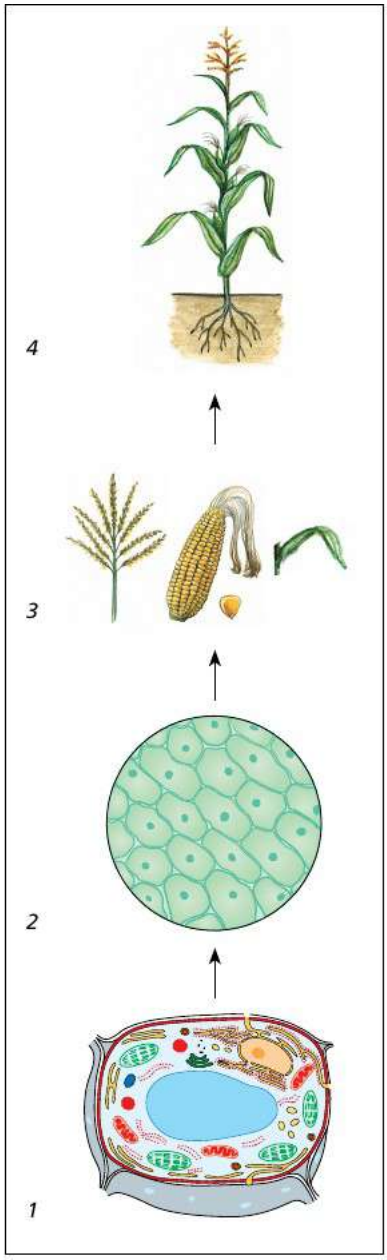


Рис. 3. Структурные единицы организма (на примере кукурузы): *1* — клетка; *2* — ткань; *3* — органы; *4* — организм

Несмотря на большое разнообразие клеток, все они сходны по своим главным структурным особенностям, химическому составу и упорядоченности процессов жизнедеятельности.

Упорядоченность строения и функций организмов обеспечивает устойчивость и нормальное протекание жизни.

3. Обмен веществ и превращение энергии. Всем организмам свойствен обмен веществ. *Обмен веществ* — это совокупность протекающих в организме многочисленных химических превращений веществ, поступивших при питании и дыхании из внешней среды. Благодаря обмену веществ сохраняются упорядоченность процессов жизнедеятельности и целостность организма, поддерживается постоянство внутренней среды в клетках и в организме в целом. Путём обмена веществами и энергией осуществляется постоянная связь организмов с окружающей средой.

Обмен веществ и превращение энергии обеспечивают постоянную связь организма со средой и поддержание его жизни.

4. Размножение как самовоспроизведение. Все живые существа появляются в результате *размножения*. Поэтому говорят: «Всё живое происходит от живого». В этом непрерывном процессе рождаются всё новые и новые организмы со своими особенностями. Однако родители всегда воспроизводят потомство, подобное им. Поэтому жизнь можно рассматривать как процесс воспроизведения себе подобных существ, как *самовоспроизведение*.

Самовоспроизведение — важнейшее свойство живого, поддерживающее непрерывность существования жизни.

5. Наследственность и изменчивость. *Наследственность* — общее свойство организмов сохранять и передавать особенности своего строения и функций от предков потомству. *Изменчивость* — свойство организмов (особей) приобретать различия в пределах вида, основа биологического разнообразия и главное условие эволюции видов.

6. Раздражимость. Живые существа активно реагируют на действия факторов среды. *Раздражимость* — свойство живого, позволяющее организмам ориентироваться в окружающей среде и, следовательно, выживать в изменяющихся условиях.

Например, у растений, ведущих прикреплённый образ жизни, раздражимость проявляется в направлении роста побегов к свету, закрывании цветков в пасмурную погоду, росте корней в сторону почвенных минеральных растворов. Животные, будучи подвижными существами, активно перемещаются в поисках пищи, спасаются от врагов, т. е. уходят из мест с неблагоприятными условиями.

7. Рост и развитие. Живые организмы с течением времени претерпевают необратимые *качественные* изменения своих свойств — развивают-

ся. Развитие сопровождается *количественными* изменениями — ростом организма, т. е. увеличением его размеров и массы, связанным с появлением у него новых клеток.

Способность к росту и развитию — общее свойство живого.

8. Эволюционное развитие. Развитие свойственно не только отдельным организмам, но и живому миру в целом. На протяжении длительного существования Земли живая природа претерпевала изменения. Этот процесс обычно идёт в направлении от простого к сложному и к большей приспособленности организмов к среде обитания. Это привело к возникновению огромного разнообразия форм живого. Длительный исторический процесс развития природы называют ***эволюцией*** (лат. *evolutio* — «развёртывание»).

Эволюция — общее свойство живого мира.

9. Дискретность. Всё живое обычно представлено *дискретными структурами*, чётко отграниченными друг от друга. Так, одна клетка обособлена от другой даже в тканях многоклеточного организма. Каждый вид, каждая популяция, так же как и их особи, дискретны. Различные экосистемы существуют обособленно. При этом каждая биосистема имеет в своём составе отдельные компоненты (органы у организма, органоиды у клетки), тесное и упорядоченное взаимодействие которых обеспечивает её целостность и проявление жизни.

1. Приведите пример раздражимости у растительного организма.
2. Сравните, в каких направлениях идут процессы развития биосистемы «организм» и системы «горы Кавказа».
3. Какое общее свойство присуще живым организмам и телам неживой природы?
4. Как вы понимаете термин «дискретность»?

§ 4 Многообразие форм живых организмов

Вспомните

- что общего между живой и неживой природой;
- чем обусловлено многообразие организмов в природе.

Организмы в разных средах жизни. Жизнь протекает на большом пространстве земной поверхности, обладающей большим разнообразием условий для жизни.

Оболочку Земли, где существует жизнь в её различных формах, называют ***биосферой*** (греч. *bios* — «жизнь» и *sphaira* — «шар»).

В связи с разнообразием условий в биосфере различают четыре среды жизни организмов: водную, наземно-воздушную, почвенную, организменную. Различные условия сред жизни порождают многообразие форм живых существ и обусловливают их специфические свойства.

Так, живые организмы, населяющие водную среду, — *гидробионты* (греч. *hydor* — «вода» и *biontos* — «живущий») способны к обитанию в плотной и вязкой водной среде: дышат растворённым в воде кислородом, размножаются, находят пищу и укрытия, передвигаются (плавают — «парят») в разных направлениях в толще воды.

Иными качествами наделены организмы, населяющие наземно-воздушную среду жизни, — *аэробионты* (греч. *aer* — «воздух» и *biontos* — «живущий»). В процессе эволюции они приобрели способность существовать в менее плотной (по сравнению с водной) среде — при обилии воздуха и кислорода, резком колебании освещённости, суточных и сезонных температур, при дефиците влаги.

Обитатели почвенной среды — *эдафобионты* (греч. *edaphos* — «почва» и *biontos* — «живущий») отличаются небольшими размерами тела, способностью обходиться без света, питаться мелкими животными и органическими веществами погибших организмов, попавших в почву.

Организмы, обитающие внутри другого живого существа — хозяина (в его кишечнике, крови, мышечной ткани, дыхательной системе, печени, кожных покровах и пр.), в большинстве случаев очень мелкие живые существа. Их называют *эндобионтами* (от греч. *endon* — «внутри» и *biontos* — «живущий»). Некоторые эндобионты являются паразитами, т. е. питаются веществами тела хозяина, другие полезны хозяину, а третьи — нейтральны.

Системное разнообразие живого. В историческом развитии жизни на Земле возникло разнообразие форм живого, обусловленное не только обитанием в разных средах жизни, но и уровнем сложности организмов. В каждой среде обитают различные одноклеточные и многоклеточные существа. Самые древние из них — многочисленные *прокариоты* (бактерии, архебактерии), более поздние — *эукариоты* (растения, грибы, животные).

Бактерии, растения, грибы и животные выделяют в отдельные царства клеточных организмов. Как особое царство живой природы рассматривают и неклеточные организмы — вирусы. Представители разных царств отличаются друг от друга по многим признакам. Однако, несмотря на различия, все они существуют в *форме организмов*. Это — особенность живой материи.

В настоящее время биология рассматривает разнообразие живых форм на основе учения о *системе*. Для системы характерно наличие не-

скольких различных частей (компонентов) и связей между ними (структуры), обеспечивающих её целостность. Так как организм представляет собой целостную систему взаимодействующих живых компонентов (органов), его называют ***живой системой*** или ***биологической системой (биосистемой)*** (рис. 4).

Биосистема — это форма жизни, целостность которой обусловлена взаимодействием её компонентов.

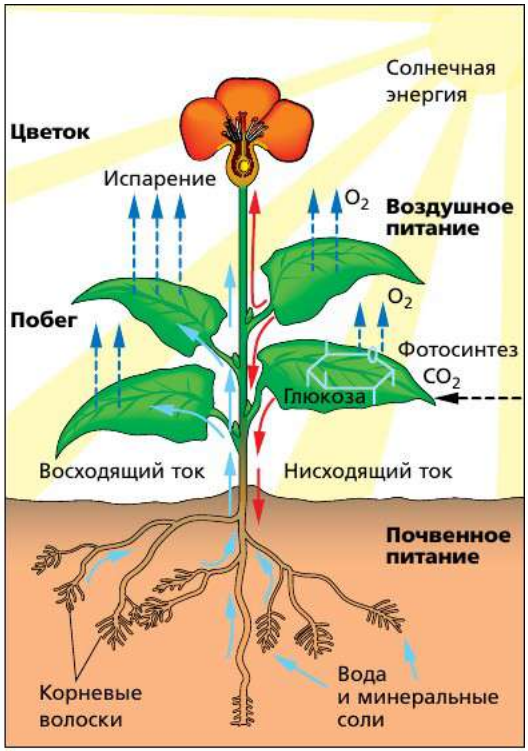


Рис. 4. Растительный организм как биосистема — совокупность взаимодействующих органов, тканей и клеток

В природе существуют биосистемы разной сложности. Так, каждая клетка является биосистемой. Жизнедеятельность и целостность клетки обусловлены взаимосвязью и взаимодействием всех её внутриклеточных компонентов (молекул, химических соединений и органоидов). Многоклеточный организм по отношению к клетке — структурно более сложная биосистема, поскольку включает различные органы, состоящие из клеток.

В живой природе кроме клеток и организмов есть и другие, более сложные биосистемы — популяции, виды, биогеоценозы, биосфера. При этом каждая из биосистем являет собой единое целое, состоящее из множества взаимодействующих частей как компонентов. Например, популяция состоит из взаимодействующих организмов (особей), вид образуют взаимодействующие внутривидовые структуры (популяции).

Разные по сложности биосистемы представляют собой особые эволюционно сложившиеся обособленные формы жизни на Земле, или ***структурные уровни организации жизни*** (рис. 5).

В живой природе выделяют шесть основных структурных уровней организации жизни: ***молекулярный***, ***клеточный***, ***организменный***, ***популяционно-видовой***, ***биогеоценотический*** и ***биосферный***. Последовательность названий этих уровней отражает нарастающую степень сложности структуры каждой биосистемы (табл. 1).

Живые организмы состоят из химических веществ — неорганических и органических соединений. Из комплексов молекул образуются внутриклеточные живые системы: мембраны, молекулы ДНК, белки, хромосомы, рибосомы и прочие, представляющие собой молекулярный уровень жизни, проявляющий свои свойства (сохранение структуры, регуляцию процессов, ответные реакции) в живой клетке.

Таким образом, на Земле имеется огромное разнообразие форм жизни. В одном случае оно объясняется условиями сред жизни на планете; в другом — историческим ходом развития живой материи — эволюцией, в результате которой на Земле появились различные многочисленные царства организмов; в третьем — сложностью структуры различных биосистем.

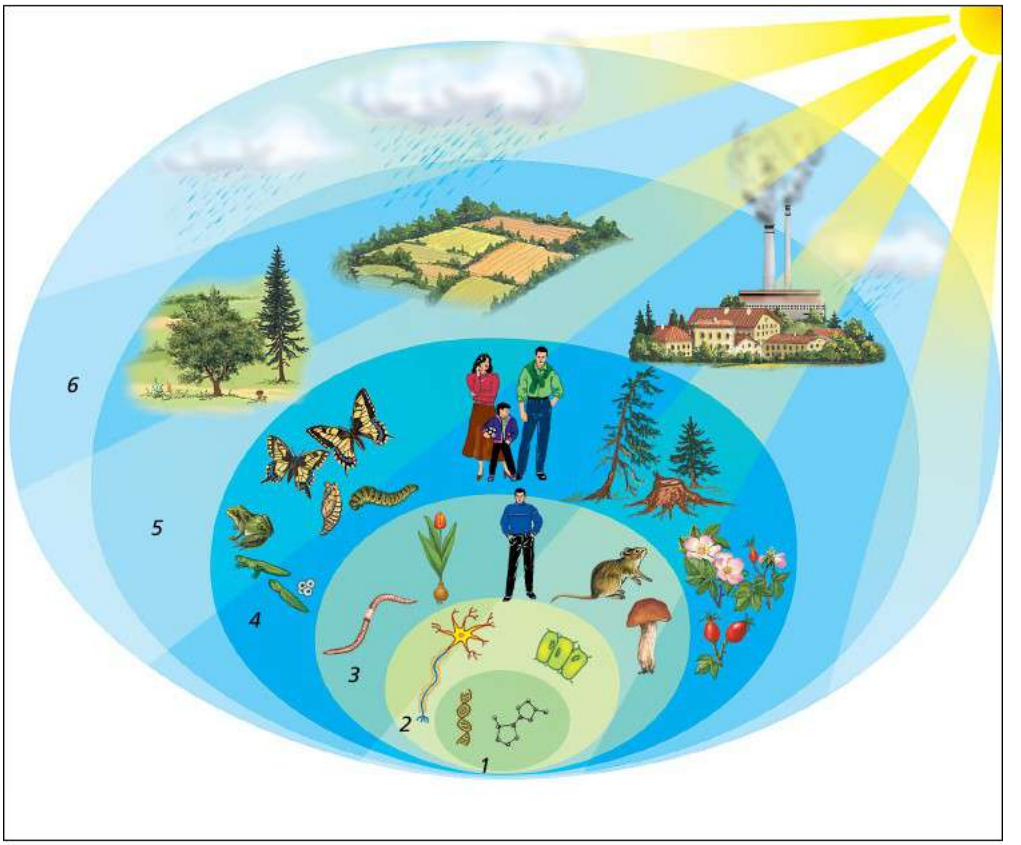


Рис. 5. Структурные уровни организации жизни: *1* — молекулярный; *2* — клеточный; *3* — организменный; *4* — популяционно-видовой; *5* — биогеоценотический; *6* — биосферный

Компоненты и явления основных уровней организации жизни

Уровни организации жизни на Земле	Структурные единицы	Структурные компоненты	Процессы и явления
Молекулярный	Молекулы	Молекулы, гены, молекулярные компоненты	Накопление энергии Солнца в химических связях. Репликация ДНК, матричный синтез
Клеточный	Клетка	Органоиды, комплексы молекул	Обмен веществ, самовоспроизведение, размножение, накопление мутаций, фотосинтез, биосинтез
Организменный	Организм (особь)	Органы, ткани, клетки	Питание, дыхание, раздражимость, развитие, поведение, образ жизни, реализация наследственности
Популяционно-видовой	Популяция и вид	Организмы (особи), группы особей, стада, стаи, семьи	Процесс эволюции, выработка адаптаций, видообразование, происхождение человека. Возникновение биологического разнообразия
Биогеоценотический	Биогеоценоз	Биоценозы (сообщества), биотопы, пищевые сети	Круговорот веществ и поток энергии, регулирование численности популяций, их устойчивости как целостных систем

Уровни организации жизни на Земле	Структурные единицы	Структурные компоненты	Процессы и явления
Биосферный	Биосфера	Биогеоценозы, человек как фактор среды, оболочки Земли	Взаимодействие живого и неживого, биологический круговорот веществ и поток энергии, деятельность человека

1. Расставьте по возрастанию степени сложности структурные уровни организации жизни: биосферный, клеточный, молекулярный, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический.
2. Подумайте: если одуванчик (как пример организма) является биосистемой, то какие взаимодействующие компоненты обеспечивают её целостность?
3. Какое из данных утверждений правильное?
- Биосистема является суммой живых организмов.
- Биосистема — совокупность её взаимодействующих частей.

4. Какие среды жизни населяют гидробионты и аэробионты?

Краткое содержание главы

1. Биология — наука, изучающая многообразие и закономерности форм жизни и их проявления. Изучение биологии необходимо каждому человеку для познания живой природы и понимания своего места в ней.
2. На Земле существует огромное разнообразие организмов. Различаясь между собой рядом существенных признаков, они имеют общие свойства. Это явление — важная закономерность проявления жизни.
3. Вторая закономерность заключается в том, что всем формам жизни для осуществления процессов жизнедеятельности необходима энергия из внешней среды.
4. Третьей важной закономерностью проявления жизни является открытость всех биосистем.
5. Многообразие живого мира на Земле обусловлено разнообразием сред жизни, историческим развитием форм жизни — их эволюцией, а также разной структурной сложностью биосистем.

Подведём итоги

Что вы узнали из материалов главы 1 «Общие закономерности жизни»?

Проверьте себя самостоятельно

1. Назовите общие свойства живого.
2. Охарактеризуйте основные свойства биосистемы.
3. Перечислите уровни организации живой материи.
4. Почему нужно изучать биологию?
5. Назовите основные методы биологических исследований.
6. В каких случаях используют метод моделирования?
7. На какой основе построено различие между структурными уровнями организации жизни?
8. Поясните, что обозначают термином «эволюция».
9. Приведите примеры представителей организменного уровня жизни.

Выполните задания

А. Сформулируйте правильный ответ.

1. Какое определение относится к уровню организации жизни?
а) биохимический
б) клеточный
в) функциональный
г) бактериальный

2. Раздражимость у организмов проявляется
а) в усилении роста
б) ускорении развития
в) реагировании на факторы среды
г) поиске защиты

Б. Выберите наиболее полное определение.
Развитие организма (онтогенез) — это
а) формирование его внешних и внутренних органов
б) увеличение размеров тела
в) совокупность качественных изменений от момента его зарождения до конца жизни
г) появление способности к размножению

В. Уберите лишнее понятие.
1. Описание, сравнение, высказывание, мониторинг.
2. Эдафобионт, аэробионт, хозяин, эндобионт.
3. Биосфера, атмосфера, биологическое разнообразие, системное разнообразие.
4. Эукариоты, прокариоты, человек, вирусы.

Обсудите проблему в классе

1. Какое значение для появления многообразия форм жизни имеют разные среды жизни в биосфере?
2. По каким признакам можно сравнить между собой представителей различных царств (Растения, Животные, Грибы, Бактерии)?
3. Почему популяционно-видовой и биогеоценотический уровни часто называют надорганизменными?
4. В чём ценность биологии для культуры общества?

Выскажите своё мнение

Почему нужно изучать проявления закономерностей жизни?

Ваша позиция

Оцените ваше личное отношение к науке биологии и её значение для современного общества и природы.

Проведите наблюдение и сделайте вывод

Проведите наблюдение за живым миром рядом с вашим домом или школой. Отметьте наличие разных форм биологического разнообразия. Сосчитайте количество видов деревьев, кустарников и животных (птиц, зверей, насекомых и пр.). Смоделируйте схему записи наблюдений и укажите, по возможности, названия изучаемых объектов. Сделайте общий вывод. Результаты вашей работы запишите в тетрадь.

Учимся создавать проекты, модели, схемы

- Спроектируйте сравнительную таблицу или рисунок (схему) для отображения сходства и различия живой и неживой природы.
- Создайте проект презентации на тему «Ценность биологического разнообразия для человека» или «Роль биологического разнообразия в природе».

Темы проектов для выполнения в группе

- Создание проекта-презентации на тему «Биология в античное время и в наши дни».
- Подготовка иллюстрированного атласа или электронного справочника на тему «Российские учёные-биологи».
- Подготовка проекта-презентации на тему «Почему муравьи быстро находят дорогу к своему дому — муравейнику?»

• Организмы обычно приспособлены к своей среде обитания. ***Приспособленность*** проявляется в особенностях их внешнего и внутреннего строения, функциях, в поведении, ритмах их жизненной активности, географическом распространении.

• Приспособленность организмов определяется пределами (границами) свойственной им наследственности. В своей среде обитания организмы хорошо «прилажены» к окружающим условиям, в которых сформировался их образ жизни. Здесь они живут, размножаются, растут, развиваются, используют свойства среды для поддержания процессов своей жизнедеятельности. Такая «прилаженность» организмов к среде формируется очень долго — в процессе исторического развития, процессе эволюции.

Найдите в библиотеке (или в Интернете) книгу В.М. Корсунской «Три великих жизни», из которой вы узнаете многое о жизни и деятельности Ж.Б. Ламарка и других учёных-натуралистов.

Биосистема, биосфера, наблюдение, описание, измерение, сравнение, эксперимент (опыт), моделирование, признаки живого, биологическое разнообразие, структурные уровни организации жизни: молекулярный, клеточный, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический, биосферный.

Глава 2

Явления и закономерности жизни на клеточном уровне

Изучив главу, вы сможете характеризовать:

- состав и строение клетки;
- свойства клеточных органоидов;
- процессы жизнедеятельности клетки;
- клетку как биосистему.

Вы сумеете:

- определять различия в строении клеток эукариот и прокариот;
- оценивать роль автотрофов и гетеротрофов в природе;
- объяснять значение обмена веществ в жизнедеятельности клетки;
- сравнивать механизмы протекания процессов биосинтеза белка, фотосинтеза и дыхания.

§ 5 Многообразие клеток

Вспомните

- какой структурный уровень организации жизни характеризует клетка;
- что существуют одноклеточные и многоклеточные организмы.

Из истории изучения многообразия клеток. История изучения клетки неразрывно связана с развитием микроскопической техники. О существовании клеток стало известно лишь в XVII в. В 1665 г. английский естествоиспытатель Р. Гук, оценив значение увеличительного прибора, впервые применил его для исследования срезов некоторых растительных и животных тканей. Под микроскопом он обнаружил структуры, похожие по строению на пчелиные соты, и назвал их «ячейками» или «клетками». С тех пор этот термин прочно утвердился в биологии.

В 1674 г. голландский натуралист А. ван Левенгук впервые рассмотрел под самодельным микроскопом некоторых простейших и отдельные клетки животных (эритроциты, сперматозоиды).

В 30-х г. XIX в. шотландский учёный Р. Браун обнаружил в клетках растений круглое плотное образование, которое он назвал *ядром*.

В 1838 г., обобщая имевшиеся к тому времени сведения о клетке, немецкий ботаник М.Я. Шлейден первым пришёл к заключению о том, что ядро является обязательным структурным элементом всех растительных клеток. В 1839 г. немецкий физиолог Т. Шванн, основываясь на работах Шлейдена, изложил основы *клеточной теории*, согласно которой все ткани животных и растительных организмов состоят из клеток, клетки растений и животных имеют общий принцип строения, каждая отдельная клетка самостоятельна, а жизнедеятельность всего организма проявляется как совокупность жизнедеятельности отдельных групп клеток.

Появление клеточной теории Шлейдена и Шванна обусловило дальнейшее развитие учения о клетке. В 1858 г. немецкий патолог Р. Вирхов доказал, что клетки возникают только путём воспроизведения себе подобных. Ему принадлежит афористическое утверждение: «Каждая клетка — от клетки». В конце XIX в. была выдвинута гипотеза о том, что информация о наследственных свойствах организмов заключена в ядре.

Крупный вклад в развитие учения о клетке внесли русские учёные. В 1892 г. И.И. Мечников открыл явление фагоцитоза (от греч. *phagos* — «пожиратель», *kytos* — «клетка») — активного захватывания и поглощения различных частиц одноклеточными организмами и даже клетками многоклеточных организмов. В 1898 г. С.Г. Навашин описал особый тип оплодотворения — двойное оплодотворение, свойственное всем цветковым растениям.

В начале XX в. были разработаны методы культивирования клеток в пробирке и сконструирован первый электронный микроскоп. В результате наука обогатилась сведениями о мельчайших, ранее не известных клеточных структурах. Было доказано, что клетки всех организмов, несмотря на их разнообразие, сходны по строению, химическому составу и проявлениям своей жизнедеятельности.

Дальнейшие исследования показали, что ядерные структуры клетки служат основой передачи наследственных свойств организмов.

Мир клеток живой природы. Клетки чрезвычайно разнообразны. Они различаются по своим размерам, структуре, форме и функциям. Размеры клеток варьируют от 0,1–0,25 мкм (некоторые бактерии) до 15–21 см (яйцо страуса в скорлупе).

Есть свободноживущие клетки, которые ведут себя как особи популяций и видов (рис. 6, *1*). Их жизнедеятельность зависит не только от слаженной работы внутриклеточных структур, но и от особенностей существования клетки как самостоятельного организма (добывание пищи, способ питания, размножение, подвижность в окружающей среде, активное и неактивное переживание неблагоприятных условий и пр.).

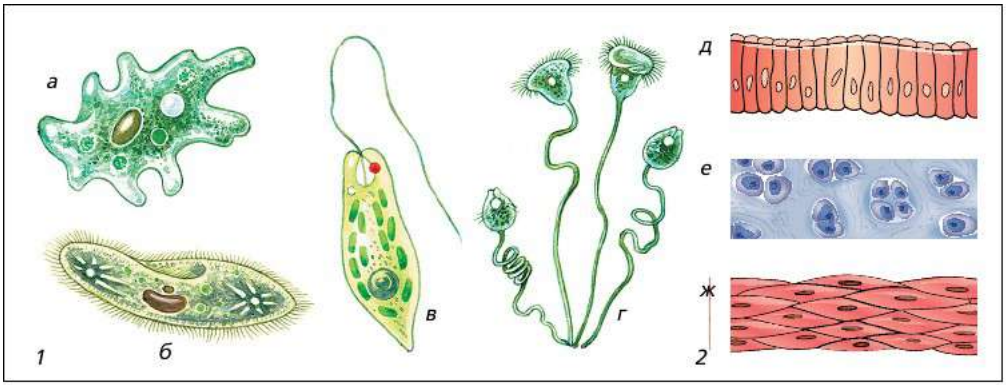


Рис. 6. Клетки свободноживущие *(1)*: *а* — амёба; *б* — инфузория-туфелька; *в* — эвглена; *г* — сувойка; клетки, образующие ткани *(2)*: *д* — эпителиальную; *е* — соединительную; *ж* — мышечную

Одноклеточных организмов чрезвычайно много. Их представители встречаются среди всех царств живой природы и населяют все среды жизни на нашей планете.

У многоклеточных организмов разные клетки выполняют различные функции. Клетки, сходные по строению, расположенные рядом, объединённые межклеточным веществом и предназначенные для выполнения определённых (специализированных) функций в организме, образуют ткани (рис. 6, *2*). Ткани возникли в ходе эволюционного развития одновременно с появлением многоклеточности, так как специализация клеток и, следовательно, тканей способствовала лучшему обеспечению процессов жизнедеятельности целостного организма.

У животных различают четыре типа (группы) тканей: эпителиальную, соединительную, мышечную и нервную; у растений — пять типов (групп) тканей: образовательную, покровную, проводящую, механическую, основную.

Клетки всех организмов на Земле принципиально сходны по своему строению, химическому составу и основным проявлениям жизни. При этом процессы жизнедеятельности (дыхание, биосинтез, обмен веществ) происходят в клетках независимо от того, являются они одноклеточными организмами или составными частями многоклеточного организма.

Жизнь многоклеточного организма зависит от жизнедеятельности его отдельных клеток и их групп, выполняющих особые, специализированные функции.

Свойства клетки. Особенность клетки определяется специфичностью её составных компонентов, упорядоченностью происходящих в ней как

в целостной системе процессов. Живая клетка осуществляет процессы, от которых зависит её жизнь: она поглощает пищу, извлекает из неё энергию, избавляется от отходов обмена веществ, поддерживает постоянство своего химического состава и воспроизводит саму себя. Всё это позволяет рассматривать клетку как особую единицу живой материи, как элементарную живую систему — биосистему клеточного уровня организации жизни.

Клетка — основная структурная и функциональная единица жизни.

Из клеток состоят все живые существа — от одноклеточных до крупных растений, животных и человека. У всех организмов клетки функционируют, с одной стороны, как самостоятельные биосистемы, а с другой — как взаимосвязанные части целого.

Два типа клеток. В первой половине XX в. было обнаружено, что в клетках бактерий нет оформленного ядра, отделённого от цитоплазмы мембраной, хотя присутствует само ядерное вещество, несущее наследственную информацию. В клетках растений, животных и грибов ядро хорошо сформировано и отграничено от цитоплазмы.

Клетки, не имеющие оформленного ядра, называют *прокариотическими* (лат. *pro* — «перед», «раньше» и греч. *karyon* — «ядро»), а имеющие ядро — *эукариотическими* (лат. *eu* — «полностью» и греч. *karyon* — «ядро»). По этому признаку все клеточные организмы делят на две группы: доядерные (***прокариоты***) и ядерные (***эукариоты***).

Клетки прокариот имеют достаточно простое строение, так как сохраняют черты первых организмов, возникших на Земле (рис. 7). Среди них различают архебактерии и бактерии. Среди бактерий выделяют группу цианобактерий. Эукариоты могут быть одноклеточными и многоклеточными, их клетки имеют более сложное строение, чем у прокариот, и отличаются большим разнообразием (рис. 8).

Жизнедеятельность организма зависит от согласованного функционирования всех его частей, мельчайшей из которых является клетка. За прошедшие миллиарды лет строение клетки не только усложнилось —

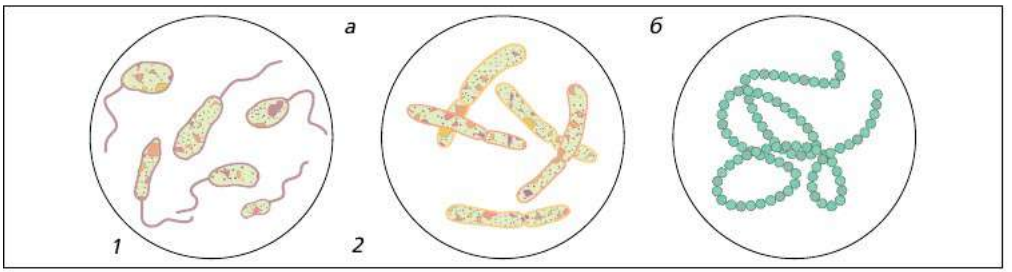


Рис. 7. Разнообразие форм клеток прокариот: архебактерии *(1)* и бактерии *(2)*: *а* — кишечная палочка, *б* — цианобактерии

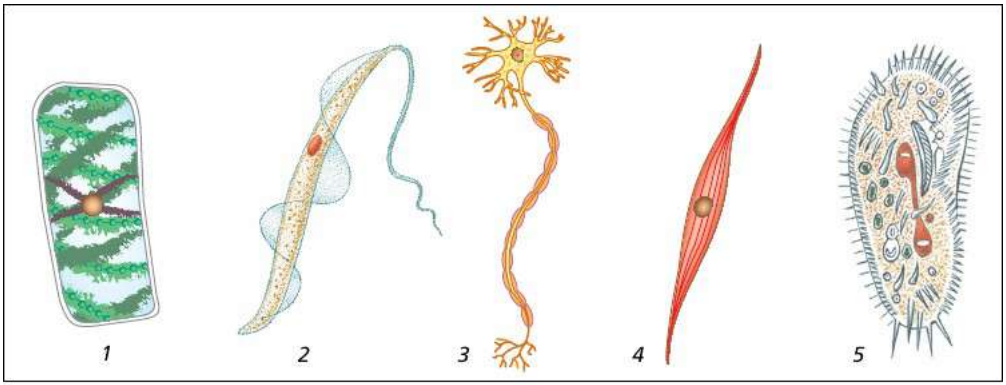


Рис. 8. Разнообразие форм клеток эукариот — растений и животных: *1* — спирогира; *2* — трипаносома; *3* — клетка нервной ткани многоклеточного организма; *4* — клетка мышечной ткани многоклеточного организма; *5* — стилонихия

она оказалась способной жить и активно функционировать в составе специализированных тканей многоклеточных организмов, сохраняя при этом свойства биосистемы и являясь основной структурной единицей жизни. В процессе воспроизведения клетки осуществляется передача наследственной информации, что обеспечивает непрерывность жизни на Земле.

1. Назовите признаки сходства и различия клеток одноклеточных и многоклеточных организмов.
2. Что лежит в основе деления всех организмов на прокариот и эукариот?
3. Почему клетку называют структурной единицей жизни?
4. Сравните особенности жизнедеятельности свободноживущей клетки и клетки многоклеточного организма.

Лабораторная работа № 1

Тема: Многообразие клеток эукариот. Сравнение растительных и животных клеток

Цель работы: сравнить особенности строения клеток растений и животных (многоклеточных и одноклеточных).

Оборудование: микроскоп, готовые микропрепараты растительных и животных тканей (внутреннее строение листа, мышечная и нервная ткани), инфузорий (инфузория-туфелька) и зелёных водорослей (хламидомонада).

Задание 1. Сравнение клеток растительных и животных тканей.

Ход работы

1. Приведите микроскоп в рабочее состояние.

2. Рассмотрите микропрепарат мякоти листа при малом и большом увеличении. Определите типы растительных тканей на поперечном срезе листа. Рассмотрите отдельные клетки различных тканей.

3. Сравните клетки столбчатой, губчатой и покровной тканей. Выявите особенности строения клеток этих тканей в связи с их функциями у растения.

4. Рассмотрите препараты клеток животных тканей (нервной и гладкой мышечной). Укажите особенности строения клеток в связи с выполняемыми ими функциями в организме животного.

5. Результаты наблюдений и выводы запишите в таблицу.

Ткань	Особенности строения	Выполняемые функции	Изображение клетки и ткани
Столбчатая			
Губчатая			
Покровная			
Нервная			
Мышечная			
Вывод:			

Задание 2. Изучение особенностей клеток одноклеточных организмов.

1. Рассмотрите микропрепараты клеток хламидомонады и парамеции. Отметьте особенности формы тела организмов, наличие ядра, вакуолей, органоидов передвижения. Сравните внешний вид клеток одноклеточных и многоклеточных организмов.

2. Найдите признаки различия у одноклеточных растительных и животных организмов. На основе наблюдений сделайте вывод.

3. Сделайте общий вывод о строении растительных и животных клеток.

4. Результаты наблюдений и выводы запишите в таблицу.

Одноклеточный организм	Особенности строения	Органоиды	Изображение организма
Хламидомонада			
Парамеция			
Вывод:			

§ 6 Химические вещества в клетке

Вспомните

- какими особенностями обладают клетки многоклеточного организма;
- в чём проявляется сходство клеток прокариот и эукариот.

Химический состав клеток. Клеточная форма жизни зародилась в воде. Минеральные вещества, содержащиеся в водной среде, послужили основой состава химических веществ живой клетки. При этом, несмотря на большое разнообразие клеток, все они состоят из одних и тех же типов химических веществ, претерпевающих одинаковые превращения в процессах жизнедеятельности клетки. Этот факт служит доказательством единства происхождения различных типов клеток в процессе эволюции.

В клетках содержатся неорганические и органические вещества.

Химический состав живой клетки отличают три особенности: 1) высокое содержание воды; 2) значительное присутствие различных химических элементов; 3) большое количество сложных органических веществ.

Неорганические вещества клетки. В состав клетки входят вода, различные минеральные соли, углекислый газ, кислоты и основания.

Вода — важнейший компонент живой клетки, она составляет около 70 % её массы. Вода придаёт клетке упругость и объём, служит растворителем веществ, делает возможным протекание всех процессов её жизнедеятельности.

Минеральные соли составляют всего 1–1,5 % общей массы клетки, но роль их значительна. В растворённом виде они являются необходимыми

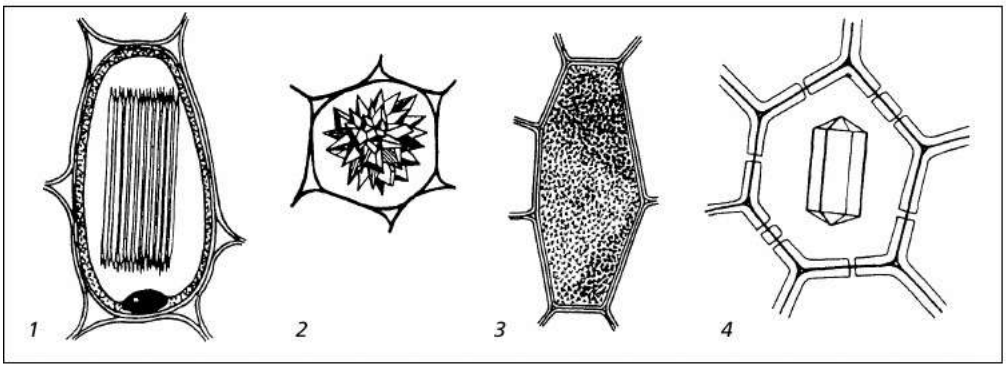


Рис. 9. Разновидности кристаллов солей кальция в клетках растений:
1 — игольчатые (недотрога); *2* — друза (опунция); *3* — кристаллический песок (картофель); *4* — одиночный кристалл (ваниль)

компонентами и участниками химических процессов, обеспечивающих жизнь клетки. Избыточное количество солей в цитоплазме переходит в кристаллическое состояние и накапливается во включениях, а в клетках растений — также и в вакуолях (рис. 9).

Органические вещества клетки — это углеводы, липиды (жиры), белки и нуклеиновые кислоты.

Во всех органических соединениях клетки важным элементом является *углерод*. Его атомы имеют четыре валентные связи и способны создавать длинные цепи и замкнутые кольцевые структуры. Углеродные цепи и кольца представляют собой «скелеты» сложных органических молекул.

В клетках живых организмов молекулы органических веществ могут, соединяясь друг с другом, создавать крупные молекулы — ***полимеры*** (от греч. *poli* — «много» и *meros* — «часть», «доля»). Молекулы, образующие полимер, называют ***мономерами*** (от греч. *monos* — «один»). Многие полимеры состоят из сотен и тысяч мономерных звеньев. Молекулы белков, нуклеиновых кислот и некоторых углеводов — полимеры. Мономерами белков являются аминокислоты, нуклеиновых кислот — нуклеотиды, полимерных углеводов (полисахаридов) — моносахариды, такие как глюкоза и фруктоза (рис. 10).

Органические вещества клетки представлены двумя группами молекул. Одни из них — биополимеры, или макромолекулы (белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды), другие — малые неполимерные молекулы (липиды, моносахариды, дисахариды, аминокислоты, нуклеотиды и др.).

Углеводы (глюкоза, крахмал, гликоген и др.) представляют собой органические вещества, в состав которых входят углерод, водород и кислород.

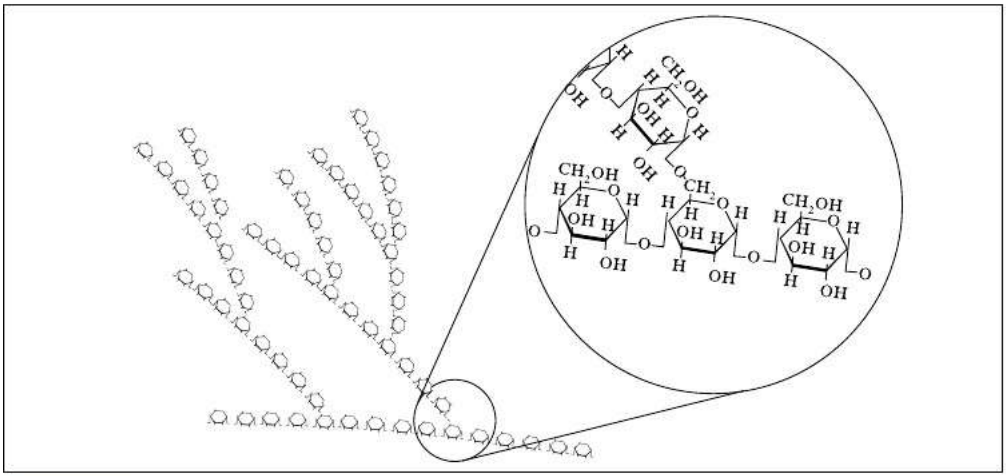


Рис. 10. Полимерная молекула гликогена, образованная из множества молекул глюкозы (мономеров)

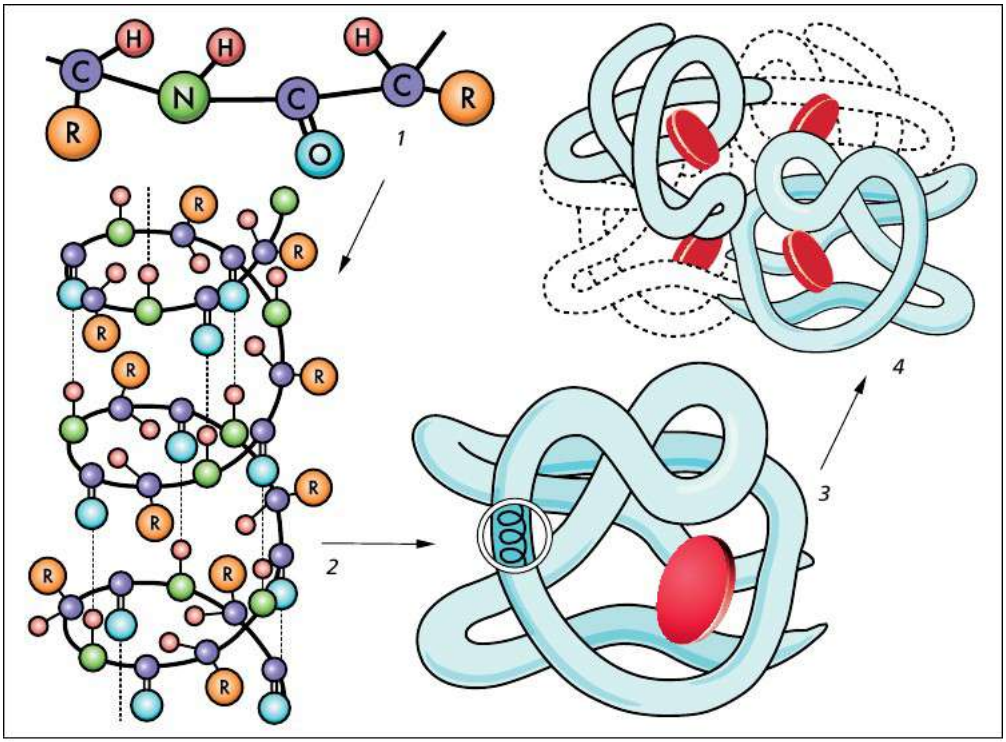


Рис. 11. Структура молекулы белка разных конфигураций: *1* — линейная; *2* — спиральная; *3* — в форме глобулы; *4* — глобула из четырёх молекул белка (две молекулы показаны пунктиром)

Они выполняют в клетке различные функции: *энергетическую* (сахароза, глюкоза), *защитную* (целлюлоза), *резервную* (крахмал, гликоген), *структурную* (целлюлоза), служат важнейшими компонентами других сложных органических веществ клетки.

Липиды — это вещества, нерастворимые в воде, в состав которых входят части молекул жирных кислот и глицерина. Как и углеводы, они выполняют *энергетическую*, *резервную*, *защитную* и *структурную* функции. Некоторые липиды (например, фосфолипиды) являются основным компонентом клеточных мембран.

Белки *(протеины)* составляют основную массу клетки (50–70 % её сухой массы). Это сложные вещества, которые выполняют в клетке важные функции. Гигантские полимерные белковые молекулы собраны из мономеров — различных аминокислот, которые, соединяясь друг с другом, образуют так называемую *первичную структуру* белка.

В природе известно более 200 различных аминокислот, но в построении молекул белков живых организмов принимают участие только 20 из них.

Специфичность белка определяется последовательностью соединения определённых аминокислот в его молекуле.

Молекула белка может представлять собой длинную нить, скрученную в спираль (*фибриллярная форма*), а может, скручиваясь далее, приобретать более плотную конфигурацию. В результате дальнейшего скручивания длинная и тонкая белковая спираль становится короче и представляет собой компактное образование — *глобулу*. Глобулярный белок выполняет свои функции, только находясь в форме глобулы (рис. 11). Если белок подвергнуть нагреванию или химическому воздействию, то его молекула теряет прежнюю конфигурацию — она раскручивается. Это важное свойство белков лежит в основе реакции живых систем на внешние или внутренние раздражители.

Роль белков в клетках очень многообразна. Они выполняют *структурную*, *защитную*, *двигательную* и *запасающую* функции. Многие белки играют роль *катализаторов* — ускоряют химические реакции, протекающие в клетке, и упорядочивают протекающие в ней процессы. Такие белки называют ***ферментами***. Ни одна химическая реакция в живой клетке не обходится без участия ферментов.

Нуклеиновые кислоты были обнаружены в ядрах клеток, в связи с чем они и получили своё название (лат. *nucleus* — «ядро»). Существует два вида нуклеиновых кислот: *дезоксирибонуклеиновая кислота* (сокращённо

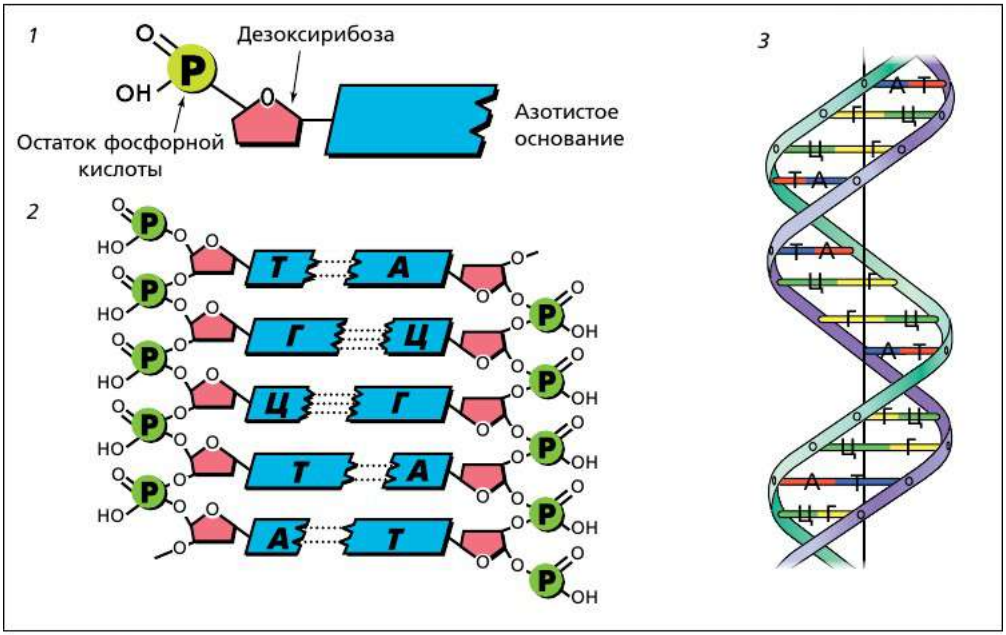


Рис. 12. Строение ДНК: *1* — схема строения нуклеотида; *2* — схема строения участка молекулы ДНК; *3* — двойная спираль ДНК

ДНК) и *рибонуклеиновая кислота* (***РНК***). Молекулы нуклеиновых кислот — очень длинные полимерные цепочки (тяжи), мономерами которых являются *нуклеотиды*. Нуклеотид — сложное органическое соединение, в состав которого входит азотистое основание, углевод (рибоза — в молекулах РНК или дезоксирибоза — в молекулах ДНК) и остаток фосфорной кислоты (рис. 12, *1*). В состав ДНК входит четыре азотистых основания: *аденин (А)*, *гуанин (Г)*, *цитозин (Ц)* и *тимин (Т)*. Молекула ДНК состоит из двух полимерных цепочек, соединённых между собой в области азотистых оснований (рис. 12, *2*) и скрученных в виде двойной спирали (рис. 12, *3*). Структуру молекулы ДНК открыли в 1953 г. американский биохимик Д. Уотсон и английский физик Ф. Крик, удостоенные в 1962 г. Нобелевской премии.

Нуклеотиды ДНК (мономеры) соединяются друг с другом парами не случайно, а избирательно — аденин *всегда* стыкуется с тимином, а гуанин — с цитозином. Способность нуклеотидов ДНК к избирательному соединению в пары называют *комплементарностью* (лат. *complementus* — «дополнение»). Схематически расположение нуклеотидов в двухцепочечной молекуле ДНК можно изобразить следующим образом:

```
А – Ц – Ц – А – Г – Т – Г – Ц – А
||  |||  |||  ||  |||  ||  |||  |||  ||
Т – Г – Г – Т – Ц – А – Ц – Г – Т
```

На свойстве комплементарности основана способность молекулы ДНК к удвоению. Процесс удвоения ДНК получил название *репликация* (лат. *replicatio* — «повторение»).

Последовательность расположения нуклеотидов в молекуле ДНК определяет *наследственную информацию* клетки.

ДНК выполняет важные биологические функции: является структурным компонентом *хромосом* и носителем наследственной информации, служит основой — *матрицей* — для синтеза различных типов РНК.

Молекула рибонуклеиновой кислоты (РНК) состоит из одной полинуклеотидной цепочки, вместо тимина содержит *урацил (У)*, в состав нуклеотидов входит рибоза. Значение РНК в жизни клетки огромно — она принимает участие в процессах биосинтеза, связанных с передачей наследственной информации от ДНК к белку.

1. Что служит доказательством единства происхождения различных типов клеток в процессе эволюции?

2. Какие функции в клетке выполняют белки и нуклеиновые кислоты?

3. Укажите лишний термин.

- Белки, ДНК, РНК, нуклеотиды.
- Мономеры, полимеры, молекула, глобула.

4. Почему углерод играет ключевую роль в жизни клетки?

§ 7

Строение клетки

Вспомните

- каковы отличительные особенности строения клетки растений;
- чем характеризуется строение животной клетки.

Структурные части клетки — это её наружный покров, ядро, цитоплазма с органоидами и включениями.

Наружный покров клеток образован *биологической мембраной* (лат. *membrana* — «кожица», «плёнка»). Её называют *плазматической* (или *клеточной*) мембраной.

Плазматическая мембрана отделяет содержимое клетки от внешней среды, а также осуществляет её взаимодействие с внешней средой и контакты с соседними клетками. Через мембрану в клетку поступают питательные вещества и выделяются ненужные продукты обмена.

В состав мембраны входят белки, сложные липиды (фосфолипиды) и соединения углеводов и белков (гликопротеиды). Мембрана образована двумя слоями молекул фосфолипидов — *билипидным слоем*, представляющим собой подвижную, текучую структуру. В отдельных местах слои мембраны пронизаны белковыми молекулами, что создаёт впечатление мозаики. Поэтому мембрану характеризуют как *жидкостно-мозаичную структуру* (рис. 13).

Мембраны клетки не образуются заново, а «собираются» из уже имеющихся путём добавления и наращивания недостающих частей.

У клеток растений, грибов и бактерий плазматическая мембрана снаружи покрыта *клеточной стенкой*. У клеток животных клеточной стенки нет, но хорошо развит слой *гликокаликса*, образованный молекулами гли-

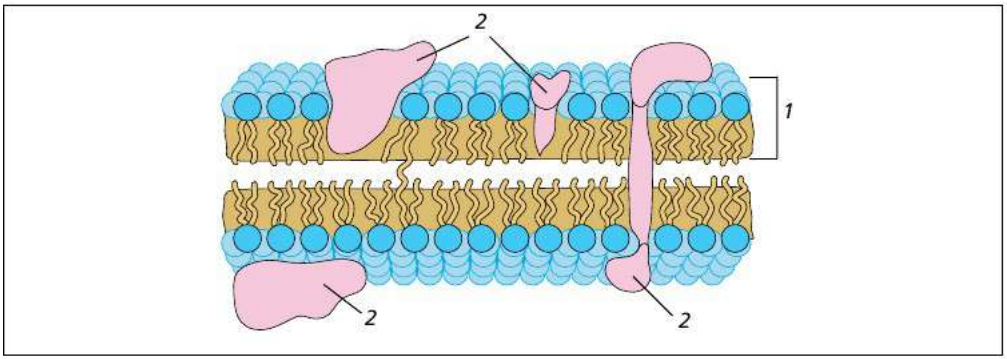


Рис. 13. Строение биологической мембраны: *1* — слой молекул фосфолипидов; *2* — белки

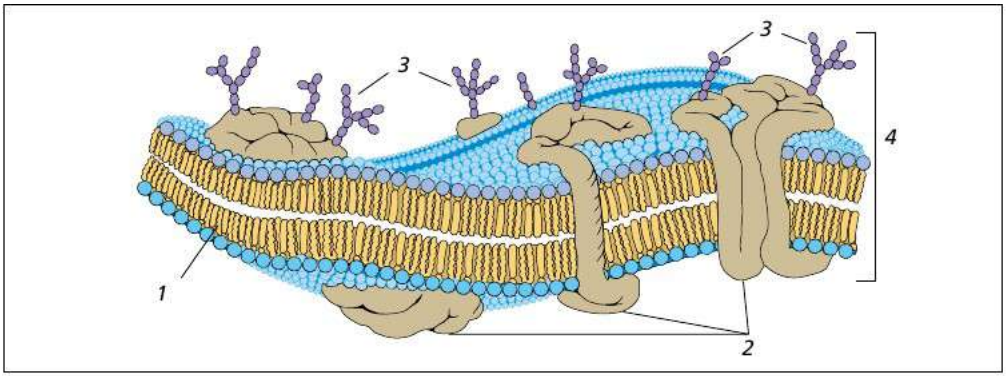


Рис. 14. Схема строения клеточной мембраны животной клетки: *1* — молекулы фосфолипидов; *2* — молекулы белков; *3* — углеводы гликокаликса; *4* — гликопротеид

копротеидов. Клеточная стенка и гликокаликс играют роль барьера, обеспечивая нормальное функционирование мембраны — *полупроницаемость*, т. е. способность избирательно пропускать в клетку и выпускать из неё различные вещества. Это способствует поддержанию в клетке определённого состава химических соединений (рис. 14).

Плазматическая мембрана отделяет клетку от внешней среды и от других клеток, полупроницаема, участвует в обмене веществ между клеткой и внешней средой.

Под мембраной находятся две важные части клетки — цитоплазма и ядро.

Ядро — это плотное тельце, часто овальной формы. Оно заполнено густым веществом — *ядерным соком*, или *кариоплазмой* (греч. *karyon* — «ядро»). От цитоплазмы ядро отделено двухслойной *ядерной мембраной*. Через многочисленные поры в мембране происходит обмен молекулами между ядром и цитоплазмой. В ядре имеется одно или несколько *ядрышек*. В ядрышке происходит формирование рибосом из рибосомной РНК и белков.

В ядерном соке, помимо различных белков, нуклеотидов, аминокислот, продуктов жизнедеятельности ядрышка, присутствуют молекулы ДНК. ДНК, объединяясь с белками, образует *хроматин*, представляющий собой тонкие нити, беспорядочно уложенные и образующие глыбки, гранулы и сетевидные структуры ядра.

Перед делением клетки хроматиновые нити уплотняются, их компактность многократно возрастает, формируются особые структуры — *хромосомы*.

Наследственная информация, заключённая в хромосомах ядра (в форме ДНК), с помощью РНК и ферментов обеспечивает протекание всех жизненно важных процессов в клетке.

Ядро — центр обеспечения протекания процессов жизнедеятельности, происходящих в клетке.

Цитоплазма — полувязкая внутренняя среда клетки, которая у эукариот постоянно движется, перетекает, перемещая вместе с собой различные вещества, включения и органоиды. В ней проходят все процессы обмена веществ. В составе цитоплазмы находятся органические и неорганические вещества.

Цитоплазма способна к росту и воспроизведению, при частичном удалении может восстановиться. Однако нормально функционирует цитоплазма только в присутствии ядра.

Важнейшая роль цитоплазмы заключается в объединении всех клеточных структур (компонентов) и обеспечении их химического взаимодействия.

В цитоплазме находятся *органоиды* (или *органеллы*) и *включения*.

Органоиды (греч. *organon* — «орган» и *eidos* — «вид») — постоянные структурные компоненты цитоплазмы, которые выполняют жизненно важные для клетки функции. *Включения* — непостоянные структурные компоненты клетки. В отличие от органоидов включения то появляются, то исчезают в процессе жизнедеятельности клетки.

Все органоиды цитоплазмы клеток делятся на две группы: *мембранные* и *немембранные*.

Части клетки, взаимодействуя между собой, образуют целостное единство — живую клетку, являющуюся ***биосистемой***.

1. Почему цитоплазму называют внутренней средой клетки?
2. Какие функции в клетке выполняет ядро?
3. Какое значение для жизнедеятельности клетки эукариот имеет движение цитоплазмы?
4. Укажите отличия животной клетки от растительной.

§ 8

Органоиды клетки и их функции

Вспомните

- какова роль клеточной мембраны;
- какие функции в клетке выполняет цитоплазма.

Мембранные органоиды. В клетках эукариот присутствуют мембранные и немембранные органоиды (рис. 15). В клетках прокариот содержатся лишь рибосомы — немембранные органоиды.

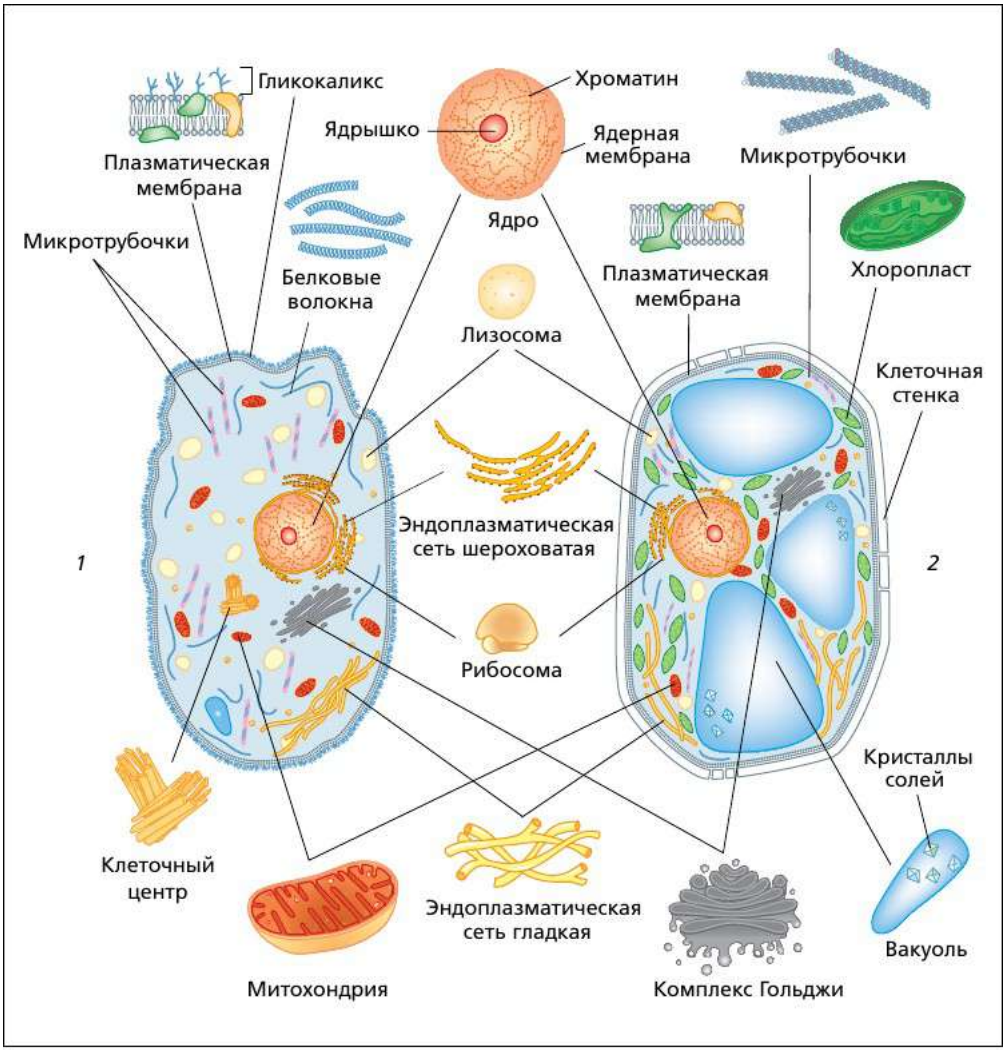


Рис. 15. Органоиды животной *(1)* и растительной *(2)* клеток

Большинство внутриклеточных структур принадлежит к мембранным органоидам, содержимое которых отделено от цитоплазмы биологическими мембранами. К ним относятся эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, митохондрии, лизосомы, пластиды.

Эндоплазматическая сеть (ЭПС) — это сложная система в виде трубочек, мешочков, плоских цистерн разных размеров. Они объединены в единую замкнутую полость и отграничены от содержимого цитоплазмы мембраной, образующей многочисленные складки и изгибы.

Эндоплазматическая сеть разделяет цитоплазму на отдельные отсеки, в которых одновременно могут проходить различные химические процессы, не мешая друг другу. Различают шероховатую и гладкую эндоплазматическую сеть. «Шероховатость» обусловлена многочисленными рибосомами, усеивающими поверхность мембран. Здесь происходит синтез белков. Гладкая эндоплазматическая сеть принимает участие в синтезе липидов и углеводов. Эндоплазматическая сеть не только синтезирует и накапливает в своих цистернах различные вещества, но и участвует в их внутриклеточной транспортировке.

Вакуоль — полость, окружённая мембраной, развившаяся из ЭПС, заполненная жидкостью. В ней содержатся ферменты, минеральные соли и различные продукты обмена веществ. У растений многочисленные мелкие вакуоли со временем сливаются в одну большую вакуоль.

Комплекс Гольджи (КГ) состоит из цистерн, трубчатых структур, вакуолей и транспортных пузырьков. Его основная функция — накопление и «упаковка» химических веществ, синтезируемых в клетке. Комплекс Гольджи взаимодействует с эндоплазматической сетью, получая от неё новообразованные белки и другие выделяемые клеткой вещества. В структурах комплекса Гольджи эти вещества накапливаются, сортируются и могут долгое время храниться в цитоплазме как запас до тех пор, пока не будут востребованы.

Лизосома (греч. *lysis* — «растворение» и *soma* — «тело») — органоид, имеющий вид пузырька. Лизосомы наполнены специальными пищеварительными ферментами. Основная функция лизосом — внутриклеточное пищеварение. Продукты переваривания поступают в цитоплазму клетки.

Митохондрия (греч. *mitos* — «нить» и *chondrion* — «зёрнышко», «крупинка») — небольшой органоид овальной формы. Стенка митохондрий образована двумя мембранами — наружной и внутренней. Внутренняя мембрана образует много складок, называемых *кристами*. Митохондрии имеют собственную ДНК и способны к делению. Эти органоиды участвуют в процессах кислородного дыхания. Энергию, которая высвобождается при этом, они преобразуют в форму, доступную для использования другими клеточными структурами. Поэтому митохондрии часто называют «энергетическими станциями» клетки.

Пластида (греч. *plastides* — «создающий») — органоид, свойственный только растительным клеткам. Различают три вида пластид: зелёные — *хлоропласты*, жёлтые и оранжевые — *хромопласты* и бесцветные — *лейкопласты*. Цвет пластидам придают зелёные или красно-жёлтые пигменты растений. Зелёный цвет хлоропластов обусловлен присутствием в них *хлорофилла* — основного фотосинтезирующего пигмента. На свету в хлоропластах протекает фотосинтез. По строению пластиды сходны с митохондриями: они окружены двойной мембраной, при-

чём внутренняя образует много складчатых выростов — *тилакоидов*. Как и митохондрии, пластиды содержат собственную ДНК и способны к делению надвое.

Немембранные органоиды. Немембранными органоидами, образованными без участия мембран, являются рибосомы и микротрубочки. *Рибосома* («рибонуклеиновый» и греч. *soma* — «тело») — органоид, выполняющий «сборку» полимерной молекулы белка (см. рис. 17, § 10). Количество рибосом в клетке огромно — от 10 тыс. у прокариот до сотен тысяч у эукариот. Каждая рибосома образуется из двух частей (субъединиц) — большой и малой, состоящих из молекул РНК и нескольких молекул белков. У эукариот рибосомы встречаются не только в цитоплазме, но и в митохондриях и хлоропластах. Функция рибосом — синтез белка. Обычно они объединяются в группы — *полисомы*.

Во всех эукариотических клетках имеются полые цилиндрические структуры — *микротрубочки*. Из микротрубочек формируются некоторые органоиды, например *клеточный центр*.

Клеточный центр (центр организации микротрубочек) определяет полюса делящейся клетки. В середине клеточного центра находятся два тельца, расположенные под углом друг к другу, — *центриоли*. Каждое из телец представляет собой цилиндр, состоящий из сросшихся микротрубочек. Клетки высших растений и большинства грибов центриолей не имеют.

Микротрубочки играют роль своеобразных рельсов, по которым происходит перемещение различных клеточных органоидов. Они входят в состав *веретена деления*, обеспечивающего движение хромосом во время деления клетки (см. рис. 22, § 13), а также в состав органоидов движения — *ресничек* и *жгутиков*, характерных для некоторых клеток (например, инфузорий, сперматозоидов).

Микротрубочки и белковые волокна образуют *цитоскелет* клетки, определяющий её форму и пространственную организацию.

Несмотря на свои чрезвычайно малые размеры, клетка является сложной биологической системой. Типичной клетки не существует, но у разнообразных клеток много общих признаков.

1. Поясните, почему органоиды называют специализированными структурами клетки.
2. Докажите, что клетка — это элементарная живая система (биосистема).
3. Какое значение для жизнедеятельности растительной клетки имеет вакуоль?
4. Сравните функции митохондрии и рибосомы в клетке.

§ 9

Обмен веществ — основа существования клетки

Вспомните

- что представляют собой клеточные органоиды;
- какую функцию выполняют митохондрии в клетке.

Понятие об обмене веществ. Для изучения клетки её обычно фиксируют, окрашивают и рассматривают под микроскопом уже неживой объект. Поэтому возникает впечатление, что структурные части клетки неподвижны, статичны, а это далеко не так. В живой клетке всё находится в движении — цитоплазма, увлекаемые ею органоиды и включения. Активно работают рибосомы и митохондрии, происходит множество химических превращений. Во всех этих процессах жизнедеятельности накапливается, тратится и преобразуется энергия. Из окружающей среды в клетку поступают различные вещества, а из клетки в окружающую среду удаляются ненужные продукты обмена — происходит ***обмен веществ***, или ***метаболизм*** (греч. *metabole* — «превращение»).

Обмен веществ и энергии (метаболизм) — это совокупность биохимических реакций, протекающих в клетке и обеспечивающих процессы её жизнедеятельности.

Обмен веществ складывается из ассимиляции и диссимиляции.

Ассимиляция (лат. *assimilatio* — «слияние», «усвоение») — совокупность химических процессов, направленных на образование и обновление структурных частей клетки. Поэтому ассимиляцию ещё называют *пластическим обменом*. Важнейшими процессами ассимиляции являются синтез белков и нуклеиновых кислот (свойствен всем организмам) и синтез углеводов (из неорганических веществ у растений, некоторых бактерий и цианобактерий).

Пластический обмен особенно интенсивно происходит в периоды роста организмов: в молодом возрасте у животных, а у растений — в течение вегетационного периода, а также в периоды размножения.

Ассимиляция является созидательным этапом обмена веществ. Он осуществляется всегда с потреблением энергии при участии ферментов.

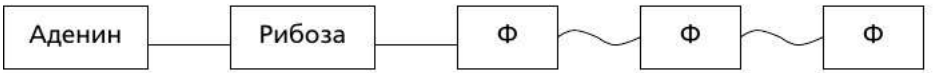
В процессе ассимиляции накопление энергии происходит главным образом при образовании энергоёмких химических связей в сложных молекулах.

Диссимиляция — совокупность реакций, в которых происходит распад крупных органических молекул до простых соединений с одновременным высвобождением энергии. При разрыве химических связей молекул органических соединений энергия высвобождается и запасается главным образом в виде молекул ***АТФ***.

Диссимиляция обеспечивает энергией все биохимические процессы в клетке, поэтому её называют также *энергетическим обменом*.

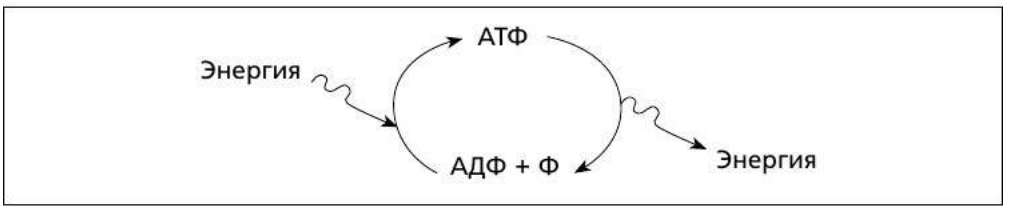
В процессе эволюции клетки живых организмов выработали регуляторные системы, обеспечивающие упорядоченность и согласованность метаболических реакций. Это и позволяет им адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды.

Энергетика клетки. Аденозинтрифосфорная кислота, или АТФ, — это нуклеотид — сложное органическое соединение, содержащее аденин, рибозу и трифосфат (три остатка фосфорной кислоты):



Молекула АТФ очень энергоёмка. Она является универсальным переносчиком и накопителем энергии. Энергия заключена в двух химических связях между тремя остатками фосфорной кислоты.

Отделение от АТФ одного концевого фосфата (Ф), т. е. остатка фосфорной кислоты, сопровождается высвобождением 30–40 кДж/моль, тогда как при разрыве иных химических связей энергии высвобождается в 3–4 раза меньше. Образовавшаяся при этом молекула *аденозиндифосфата (АДФ)*, имеющая два фосфатных остатка, может быстро восстановиться до АТФ или, при необходимости, отдав один концевой фосфат, превратиться в *аденозинмонофосфат* (*АМФ)*:



Превращения АТФ в АДФ и обратно служат основным механизмом поддержания энергетического баланса клетки. Присоединение фосфорных остатков к АМФ и АДФ сопровождается накоплением (аккумуляцией) энергии, а их отщепление от АТФ и АДФ приводит к выделению энергии. Благодаря богатым энергией химическим связям в молекулах АТФ клетка способна накапливать энергию и расходовать её на процессы своей жизнедеятельности и жизнедеятельности всего организма.

Синтез АТФ у эукариот происходит в мембранах митохондрий и хлоропластов и в цитоплазме, а у прокариот — в цитоплазме и особых выростах клеточной мембраны — мезосомах.

1. Поясните, в каком виде энергия накапливается в клетках.
2. Что произойдёт с клеткой, если в её метаболизме будет превалировать ассимиляция; диссимиляция?
3. Клетка — это биосистема. Охарактеризуйте процессы, которые обеспечивают её целостность.

§ 10

Биосинтез белка в клетке

Вспомните

- какую роль играет АТФ в жизнедеятельности клетки;
- что такое АДФ.

Понятие о биосинтезе. Каждая живая клетка создаёт (синтезирует) вещества, из которых она состоит. Процессы пластического обмена, т. е. образования органических веществ, происходящие в живых клетках с помощью ферментов и внутриклеточных структур, называют ***биосинтезом*** (греч. *bios* — «жизнь» и *synthesis* — «соединение»). Биосинтез всегда идёт с потреблением энергии. Так, биосинтез простых углеводов у зелёных растений протекает за счёт энергии света. Биосинтез белка осуществляется за счёт энергии, заключённой в химических связях АТФ.

Этапы синтеза белка в клетке. В биосинтезе молекул белка участвуют аминокислоты, многочисленные ферменты, рибосомы и разные типы РНК (*рРНК — рибосомная*, *тРНК — транспортная* и *иРНК — информационная*). Биосинтез белка осуществляется в рибосомах.

Характер биосинтеза определяется наследственной информацией, закодированной в определённых участках ДНК хромосом — *генах*. Гены хранят и передают информацию об очерёдности аминокислот синтезируемого белка, иными словами, *кодируют* структуру белковой молекулы. Информация о каждой аминокислоте «записана» комбинацией из трёх нуклеотидов (*триплетом*, или *кодоном*). В этом состоит суть *генетического кода*: различные сочетания из трёх нуклеотидов кодируют определённые аминокислоты.

Генетический код универсален — он одинаков для всех живых организмов.

Молекулы информационной РНК (иРНК) переносят информацию с ДНК из ядра в цитоплазму клетки, где происходит «сборка» молекул белка. Схематически процесс биосинтеза белка можно представить так: ДНК ⟶ иРНК ⟶ белок. Процесс биосинтеза белка совершается в два этапа.

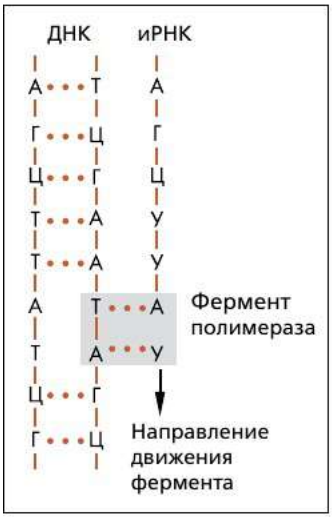


Рис. 16. Схема образования иРНК на матрице ДНК

Первый этап биосинтеза. Специальный белок-фермент (полимераза) узнаёт на молекуле ДНК начальную точку синтеза. В присутствии полимеразы происходит раскручивание двойной спирали ДНК и образование одноцепочечных участков. Фермент перемещается вдоль цепи ДНК и строит на ней, как на матрице, цепь иРНК в соответствии с принципом комплементарности (рис. 16).

Образовавшаяся таким способом цепь иРНК оказывается точной копией определённого участка ДНК-матрицы. Процесс копирования генетической информации с ДНК на иРНК называют копированием, переписыванием или *транскрипцией* (от лат. *transcription* — «переписывание»).

Участок молекулы ДНК, несущий информацию о структуре одного белка, отграничивается от других участков. Существуют триплеты, которые «запускают» синтез полинуклеотидной цепочки, и триплеты, которые его прекращают, т. е. служат «знаками препинания».

Транскрипция — первый этап биосинтеза белка. На этом этапе происходит «списывание» генетической информации путём создания иРНК.

Второй этап биосинтеза. Все процессы «сборки» молекулы белка происходят в цитоплазме, где находятся аминокислоты, многочисленные транспортные РНК (тРНК), ферменты, катализирующие процесс биосинтеза, и АТФ, обеспечивающий его энергией (рис. 17). Здесь из двух субъединиц образуются рибосомы и сюда из ядра поступает иРНК. Образовавшаяся иРНК выходит из ядра в цитоплазму через поры в ядерной мембране. Связываясь с рибосомами, она служит матрицей, на которой происходит синтез белковых молекул.

Рибосома — уникальный «сборочный аппарат». Она перемещается по иРНК не плавно, а прерывисто, триплет за триплетом. В результате в строгом соответствии с последовательностью расположения нуклеотидов иРНК определённые аминокислоты объединяются на ней в длинную полимерную цепь белка. Порядок аминокислот в этой цепи соответствует гене-

тической информации, скопированной («списанной») с определённого участка ДНК. Синтез полипептидных цепей на матрице иРНК, происходящий в рибосомах, называют *трансляцией* (лат. *translatio* — «передача»).

Трансляция — построение полимерной молекулы белка из многочисленных мономеров — аминокислот на основе считывания генетической информации, заключённой в иРНК, — второй этап биосинтеза.

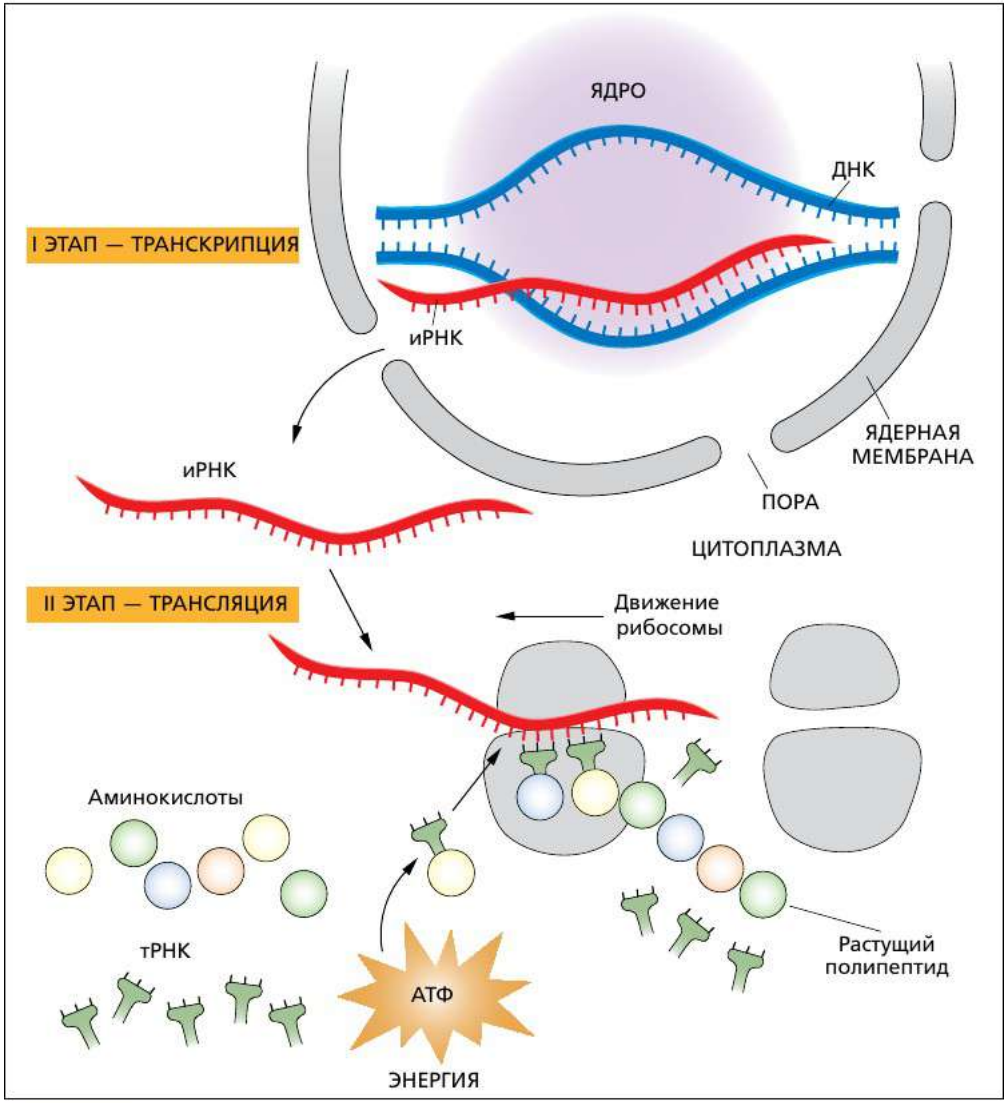


Рис. 17. Схема биосинтеза белка в живой клетке

Аминокислоты доставляются к рибосомам с помощью тРНК. В клетке имеется столько же разных тРНК, сколько кодонов (триплетов), шифрующих аминокислоты. В молекуле каждой тРНК содержится последовательность из трёх нуклеотидов, комплементарных нуклеотидам кодона в иРНК. Её называют *антикодоном*. Для каждой аминокислоты требуется определённая («своя») тРНК, антикодон которой соответствует определённому кодону иРНК. На соединение каждой аминокислоты с тРНК расходуется энергия одной молекулы АТФ.

Изменение последовательности нуклеотидов иРНК, произошедшее при её копировании с ДНК-матрицы, может привести к изменению последовательности аминокислот в белке. Такой белок приобретает новые свойства и может оказать значительное влияние на жизнедеятельность организма — как положительное, так и отрицательное.

После завершения синтеза полипептидная цепочка отделяется от матрицы — молекулы иРНК.

Обычно вдоль одной молекулы иРНК движется сразу несколько рибосом, при этом одновременно синтезируется несколько белковых молекул.

Молекула иРНК может использоваться для синтеза белков многократно, как и рибосома.

Срок жизни иРНК — от двух минут у бактерий до нескольких дней у высших организмов. В итоге ферменты разрушают иРНК до отдельных нуклеотидов, которые затем используются для синтеза новых иРНК. Расщепляя и синтезируя иРНК, клетка строго регулирует синтез белков, их тип и количество.

Генетический код был расшифрован в 60-е гг. XX в. Из четырёх типов нуклеотидов можно составить 64 триплетных сочетания. Существует огромное количество белков, но в их построении участвует всего 20 аминокислот. Таким образом, число возможных триплетов более чем втрое превышает число распространённых аминокислот. Поэтому большинству аминокислот соответствует несколько кодонов. Это явление называют *вырожденностью* генетического кода. Поскольку количество нуклеотидов в ДНК хромосом чрезвычайно велико, в клетке может синтезироваться огромное количество различных белков. Значительная их часть — ферменты.

Процесс биосинтеза белковых молекул осуществляется только в живой клетке.

1. Охарактеризуйте функции различных видов РНК в биосинтезе белка.

2. Какова роль цитоплазмы в биосинтезе белка?

3. Исправьте ошибку в утверждении.

- Транскрипция завершает процесс синтеза белка в клетке.

4. Каким образом молекулы аминокислот собираются в полимерную молекулу белка?

§ 11

Биосинтез углеводов — фотосинтез

Вспомните

- из каких этапов состоит биосинтез белка;
- как идёт процесс «сборки» молекулы белка.

Понятие о фотосинтезе. В процессе биосинтеза белка образуется полимерная молекула из готовых мономеров — аминокислот, уже имеющихся в клетке. Этот процесс осуществляется за счёт внутренней энергии клетки, заключённой в химических связях молекул АТФ. Биосинтез углеводов растений происходит принципиально иначе — он совершается за счёт энергии солнечного света. Этот процесс называют ***фотосинтезом*** (греч. *photos* — «свет» и *synthesis* — «соединение»).

Фотосинтез — процесс образования органических веществ из неорганических за счёт энергии солнечного света.

Важнейшую роль в процессе фотосинтеза играют пигмент хлорофилл и другие пигменты, которые помогают хлорофиллу улавливать свет. Затем в ходе синтетических процессов световая энергия превращается в энергию химических связей. Этот процесс протекает в хлоропластах клеток зелёных растений.

Хлоропласты — внутриклеточные органоиды (пластиды), которые благодаря пигменту хлорофиллу окрашены в зелёный цвет. В растительной клетке обычно содержится от 15 до 50 хлоропластов и более (см. рис. 15, § 8).

Хлоропласты растений имеют сложное строение. От цитоплазмы они отделены двойной мембраной, обладающей избирательной проницаемостью. Внутренняя среда хлоропласта — *строма* (греч. *stroma* — «подстилка», «ковёр») содержит молекулы ДНК, РНК, нуклеотиды, белки, рибосомы. Там же происходит отложение запасного полисахарида — крахмала в виде зёрен. Внутренняя мембрана хлоропласта, врастая внутрь стромы, создаёт мешковидные уплощённые структуры — *тилакоиды*.

Тилакоиды располагаются друг над другом (как стопка монет). Такие стопки называют *гранами*. Число гран в хлоропластах у разных растений различно — от 40 до 150.

Молекулы хлорофилла и других фотосинтезирующих пигментов встроены в мембрану тилакоида. Поэтому эту мембрану называют *фотосинтезирующей* (рис. 18).

Фотосинтез — сложный, многоступенчатый процесс. Начало ему задаёт свет. Многолетние исследования процесса фотосинтеза показали, что он

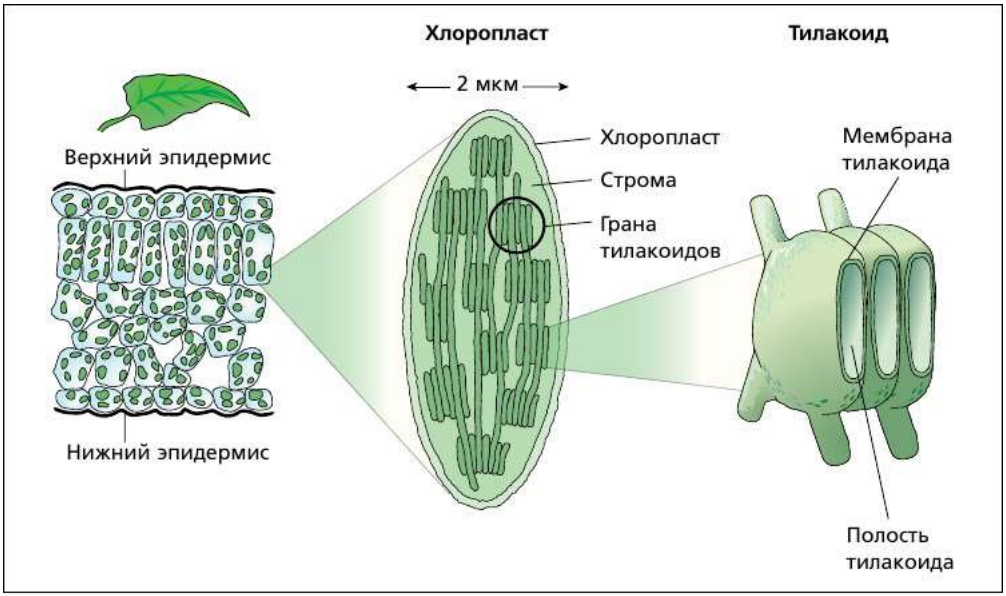


Рис. 18. Схема строения хлоропласта и тилакоида

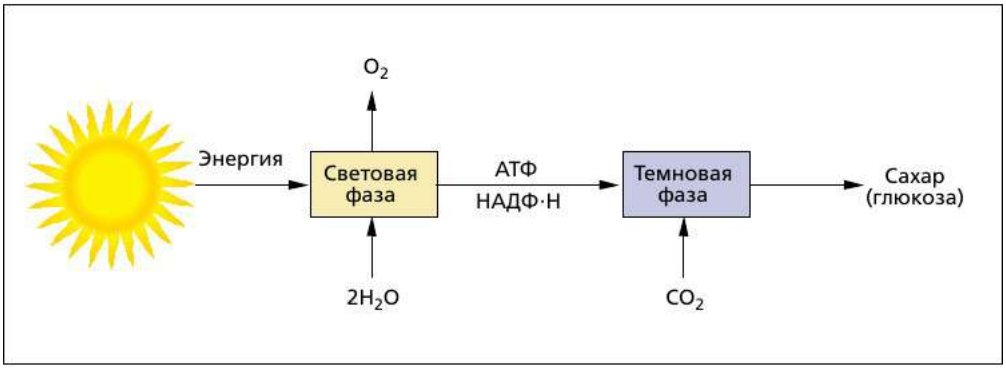


Рис. 19. Общая схема фотосинтеза

включает в себя две стадии, последовательно идущие друг за другом: *световую* и *темновую* (рис. 19).

Первая фаза фотосинтеза — световая осуществляется на мембране и в полости тилакоида. Под влиянием энергии солнечного света молекула хлорофилла возбуждается и один из её электронов переходит на более высокий энергетический уровень. Богатый энергией электрон участвует в окислительно-восстановительных реакциях и отдаёт избыточную энергию, проходя по цепи *переносчиков* электронов — различных белков, встроенных в

мембрану тилакоида. Отдаваемая электроном энергия используется на синтез молекул АТФ из АДФ и фосфорной кислоты. При этом световая энергия преобразуется в химическую и запасается в молекулах АТФ. Это один из главных моментов световых реакций фотосинтеза.

Солнечная энергия способствует также расщеплению молекул воды на водород и кислород. Этот процесс называют *фотолизом* (от греч. *photos* — «свет» и *lysis* — «растворение»). Схематически он выглядит следующим образом:

$$2H_2O \xrightarrow{\text{Энергия света}} 4\bar{e} + 4H^+ + O_2\uparrow$$

Молекулы хлорофилла, потерявшие электроны, присоединяют электроны, образующиеся при расщеплении молекул воды. Протоны (H^+) соединяются с нуклеотидом НАДФ$^+$ — переносчиком ионов водорода и электронов — и восстанавливают его до НАДФ · Н. Энергия, заключённая в молекулах НАДФ · Н, затем используется в реакциях синтеза углеводов. Молекулярный кислород, образующийся в результате фотолиза, выделяется в окружающую среду (см. рис. 19).

Таким образом, важнейшим итогом световой фазы является синтез богатых энергией соединений — АТФ и НАДФ · Н.

Вторая фаза фотосинтеза — темновая, сущность которой заключается в связывании CO_2 воздуха, может осуществляться как на свету, так и без участия света, поскольку в качестве источника энергии используются образовавшиеся в процессе световой стадии АТФ и НАДФ · Н. Эта фаза происходит в строме хлоропласта.

Реакции темновой фазы начинаются со связывания молекулы углекислого газа с имеющимся в хлоропластах пятиуглеродным сахаром (акцептором CO_2). В результате образуется шестиуглеродное соединение, которое существует в течение очень короткого времени, а затем распадается на две молекулы трёхуглеродной органической кислоты. Эти процессы начинаются в строме хлоропласта и продолжаются в цитоплазме, где образовавшиеся трёхуглеродные соединения после ряда последовательных реакций превращаются в молекулу сахара — глюкозы.

Итоговое уравнение фотосинтеза имеет следующий вид:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{Энергия света}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2\uparrow$$

Сложный поэтапный процесс фотосинтеза идёт непрерывно, пока клетки, содержащие хлорофилл, получают энергию солнечного света.

Условия протекания и значение фотосинтеза. На скорость фотосинтеза влияют внешние условия среды: интенсивность освещения, концентрация углекислого газа и температура. Если эти параметры достигают оптимальных величин, происходит усиление фотосинтеза. Благодаря фотосинтезу примерно 1–1,5 % энергии Солнца, поглощённой зелёными растениями, запасается в молекулах органических соединений. Фотосинтезирующие организмы дают пищу гетеротрофам, а также поставляют в атмосферу кислород, необходимый для дыхания всем живым организмам. Установлено, что кислород, содержащийся в современной атмосфере Земли, — продукт фотосинтеза.

Фотосинтез — уникальный процесс создания клетками водорослей, высших растений и цианобактерий органических веществ из неорганических, притом идущий в огромных масштабах на суше и в воде.

Фотосинтез — единственный на нашей планете процесс превращения энергии солнечного света в энергию химических связей органических веществ. Таким способом энергия Солнца, поступающая из космоса, преобразуется и запасается клетками фотосинтезирующих организмов в виде углеводов, белков и липидов, обеспечивая жизнедеятельность всего населения живого мира — от бактерий до человека.

Вот почему выдающийся русский учёный-естествоиспытатель К.А. Тимирязев роль зелёных растений на Земле назвал космической.

1. В чём отличие биосинтеза углеводов от биосинтеза белка?

2. Откуда берётся кислород, в большом количестве поставляемый в атмосферу растениями?

3. Закончите утверждение, выбрав наиболее точную характеристику из предложенных.

- В фотосинтезе роль света заключается в том, что он:
  а) возбуждает молекулу хлорофилла
  б) выделяет кислород
  в) соединяется с хлорофиллом
  г) связывается с углекислым газом

§ 12

Обеспечение клеток энергией

Вспомните

- какое значение имеют для клетки реакции световой фазы фотосинтеза;
- при каких условиях происходит синтез органических веществ.

Биологическая роль энергетического обмена. Живым клеткам постоянно требуется энергия, которая используется для обеспечения их жизнедеятельности. Одни организмы используют энергию солнечного света, другие — энергию, заключённую в химических связях органических веществ (углеводов, белков, жиров и др.), поступающих с пищей. Извлечение энергии из сложных молекул органических веществ в клетке осуществляется путём их расщепления (окисления) до более простых веществ и разрушения химических связей. Вы уже знаете, что этот процесс называют *энергетическим обменом* (или *диссимиляцией*) (см. § 9).

Процессы энергетического обмена осуществляются многоступенчато. При этом в клетке происходит накопление энергии в виде молекул АТФ и других энергоёмких (так называемых *макроэргических*) соединений. Молекулы АТФ, перемещаясь по клетке, обеспечивают энергией все происходящие в ней процессы.

Стадии энергетического обмена. У аэробных организмов, живущих в кислородной среде, выделяют три последовательно идущие стадии энергетического обмена: подготовительную, бескислородное расщепление и кислородное расщепление (рис. 20). У анаэробных организмов, живущих в бескислородной среде, и аэробных в случае недостатка кислорода — две стадии: подготовительную и бескислородное расщепление.

Первая и вторая стадии энергетического обмена происходят в цитоплазме клетки, а третья — в митохондриях.

На *подготовительной (первой) стадии* поступившие с пищей или созданные путём фотосинтеза биополимеры — молекулы органических веществ распадаются на мономеры. У многоклеточных животных это происходит в желудочно-кишечном тракте под действием пищеварительных ферментов, а на клеточном уровне — в лизосомах. Образовавшиеся небольшие органические молекулы поступают в кровь, разносятся по телу, доставляются клеткам и проникают в цитоплазму. Например, полисахариды распадаются на молекулы глюкозы, белки — на молекулы аминокислот, жиры — на глицерин и жирные кислоты, нуклеиновые кислоты — на нуклеотиды. У простейших распад биополимеров происходит в пищеварительных вакуолях. Образовавшиеся низкомолекулярные вещества могут

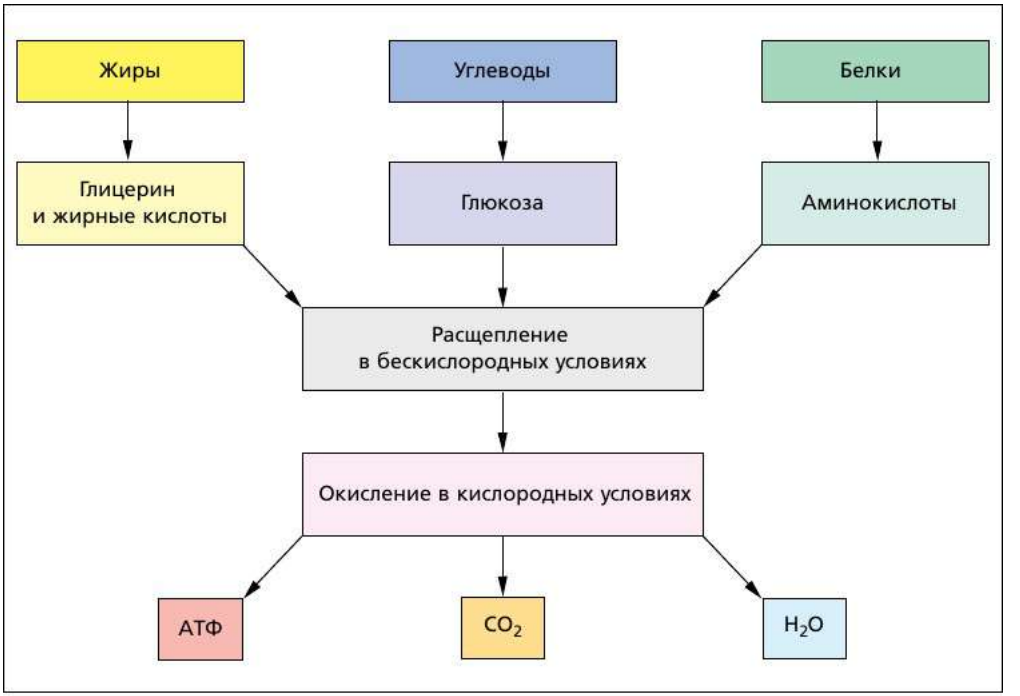


Рис. 20. Схема энергетического обмена

быть использованы в качестве «строительного материала» или могут подвергаться дальнейшему расщеплению. Выделяющееся при этом небольшое количество энергии рассеивается в виде тепла.

На *второй стадии* образовавшиеся мономеры распадаются на ещё более простые молекулы. Например, один из главных видов биологического «топлива» — молекула глюкозы (шестиуглеродное соединение) в итоге распадается на две трёхуглеродные молекулы *пировиноградной кислоты* (*пирувата*, *ПВК*). Весь процесс идёт под действием ферментов, но без участия кислорода, поэтому данную стадию называют *бескислородным расщеплением*.

Ферментативный бескислородный (анаэробный) процесс расщепления глюкозы называют ***гликолизом*** (греч. *glykys* — «сладкий» и *lysis* — «разложение», «распад»). В процессе гликолиза при расщеплении одной молекулы глюкозы образуются две молекулы АТФ из АДФ и фосфорной кислоты:

$$\underset{\text{Глюкоза}}{C_6H_{12}O_6} + 2\text{АДФ} + 2\text{Ф} \longrightarrow \underset{\text{ПВК}}{2C_3H_4O_3} + 2H^+ + 2\text{АТФ}$$

Общий выход энергии составляет 200 кДж. Часть этой энергии (60 %) выделяется в виде тепла, а 40 % запасается в макроэргических связях АТФ.

Если кислород в клетке отсутствует или его недостаточно, пировиноградная кислота (пируват) может превратиться в *молочную кислоту (лактат)*. Этот процесс происходит, например, в клетках поперечнополосатых мышц человека и животных при интенсивной нагрузке, когда кровь не успевает доставлять в мышцы кислород.

Гликолиз — наиболее древний способ расщепления глюкозы, широко распространённый в природе. Он играет важную роль в обмене веществ живых организмов. По механизму, аналогичному гликолизу, протекает процесс брожения, обеспечивающий энергией клетки различных микроорганизмов.

Последовательность реакций гликолиза одинакова у всех живых клеток без исключения.

В условиях достаточного снабжения клеток кислородом гликолиз выступает промежуточной стадией, предшествующей окислительному распаду углеводов до конечных продуктов — углекислого газа и воды.

На *третьей стадии* энергетического обмена в митохондриях происходит дальнейшее окисление образовавшихся на второй стадии молекул ПВК до конечных продуктов — углекислого газа и воды. Поскольку эта стадия идёт с участием кислорода, её называют *кислородным расщеплением* или ***клеточным (тканевым) дыханием***.

Многие реакции кислородного расщепления сопровождаются освобождением энергии, суммарный выход которой составляет 2600 кДж на каждые две молекулы ПВК при полном их окислении. 45 % этой энергии рассеивается в виде тепла, а 55 % сберегается в виде АТФ. Всего на этом этапе образуется 36 молекул АТФ.

В итоге в процессе энергетического обмена при окислении одной молекулы глюкозы образуется 38 молекул АТФ: 2 молекулы АТФ в процессе гликолиза (в анаэробных условиях) и 36 молекул АТФ в процессах клеточного дыхания (в аэробных условиях). Часть молекул расходуется на сами реакции окисления, а другая часть транспортируется в цитоплазму для обеспечения работы других клеточных структур.

Энергетический выход кислородного расщепления органических веществ, выраженный в молекулах АТФ, примерно в 20 раз выше, чем при анаэробном гликолизе.

В процессах клеточного дыхания помимо глюкозы могут расщепляться все органические вещества — другие углеводы, белки, жиры.

Кислород, необходимый для процессов окисления, поступает в организм во время дыхания. Процесс дыхания нередко сравнивают с горением: в обоих случаях происходит поглощение кислорода, выделение энергии и образование продуктов окисления — углекислого газа и воды. Но при сгорании органических веществ почти вся энергия выделяется в ви-

де тепла. При биологическом окислении в теплоту превращается 55 % энергии.

В отличие от горения дыхание представляет собой высокоупорядоченный процесс последовательно идущих реакций биологического окисления, осуществляемых с помощью ферментов. Поскольку ферментативные процессы окисления идут ступенчато, тепловая энергия выделяется не сразу, а постепенно и успевает рассеяться в окружающей среде. По этой причине не повреждаются чувствительные к нагреванию белки и другие вещества клетки.

В процессе дыхания CO_2 возникает как конечный продукт реакций биологического окисления. При этом образуются молекулы АТФ и других макроэргических соединений, в химических связях которых запасается энергия, идущая на обеспечение жизнедеятельности клетки. В этом состоит главное отличие процессов биологического окисления, протекающих в клетках живых организмов, от горения.

1. В чём состоит различие процессов дыхания и фотосинтеза?

2. По какой причине считают, что гликолиз появился в живой природе раньше кислородного расщепления?

3. Замените одним словом выделенную часть каждого утверждения.

- *Ферментативный бескислородный процесс распада глюкозы в клетке* является необходимой стадией подготовки сахаров для их полного расщепления.
- *Совокупность процессов расщепления молекул органических веществ* — свойство клеток высших растений, большинства животных и аэробных прокариот.

§ 13

Размножение клетки и её жизненный цикл

Вспомните

- как размножаются клетки;
- что происходит с наследственным материалом (хромосомами) при делении клетки.

Понятие о делении клетки. Все клетки размножаются путём деления уже существующей клетки, реализуя основной закон жизни: «Клетка — от клетки». Этот процесс наблюдается и у одноклеточных, и у многоклеточных организмов.

Образовавшиеся дочерние клетки становятся способными к делению после периода своего роста и развития. Это обусловлено тем, что делению

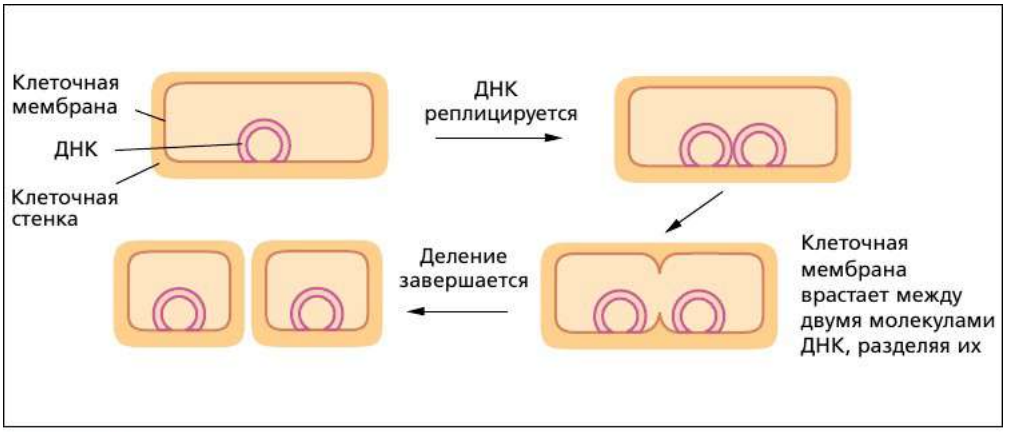


Рис. 21. Схема деления прокариотической клетки

клетки должно предшествовать удвоение её наследственного материала, заключённого в хромосомах. В противном случае в дочерние клетки их попадало бы всё меньше и меньше. Каждая дочерняя клетка, образовавшаяся при делении, получает копию хромосом с наследственной информацией от родительской клетки.

Самовоспроизведение путём деления — общее свойство клеток одноклеточных и многоклеточных организмов. Однако этот процесс происходит неодинаково у клеток прокариот и эукариот.

Деление клеток у прокариот обусловлено особенностями их строения. У прокариотических клеток нет ядра. Наследственный материал у бактерий представлен одной кольцевой молекулой ДНК, которую условно считают хромосомой. Кольцевая ДНК обычно прикреплена к клеточной мембране.

Клетки размножаются простым делением надвое. Весь процесс происходит следующим образом. Перед делением клетки бактериальная ДНК удваивается. Дочерние ДНК, в свою очередь, оказываются прикреплёнными к клеточной мембране. Далее клеточная мембрана образует перетяжку между двумя образовавшимися молекулами ДНК. Таким образом, цитоплазма оказывается поделённой между двумя дочерними клетками, в каждой из которых содержится по идентичной кольцевой молекуле ДНК (рис. 21).

Деление клеток у эукариот происходит более сложно. Сначала осуществляется деление ядра на две равнозначные части, а затем — деление цитоплазмы клетки. У эукариот хромосомы, число которых может достигать значительного количества, содержатся в ядре. Равномерное и точное распределение удвоившихся хромосом между ядрами дочерних клеток обеспечивается специальным аппаратом — *веретеном деления*. Оно состоит из нитей, образованных микротрубочками. В формировании верете-

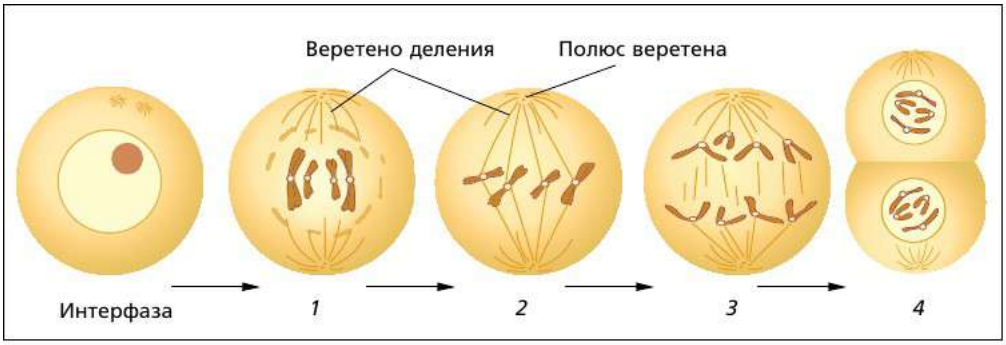


Рис. 22. Клетка на разных стадиях деления ядра: *1* — профаза; *2* — метафаза; *3* — анафаза; *4* — телофаза

на деления участвует особый органоид — *клеточный центр*, который определяет полюса делящейся клетки.

Затем происходит разделение цитоплазмы материнской клетки. В итоге образуются две полностью самостоятельные дочерние клетки. Этот процесс называют ***митозом*** (греч. *mitos* — «нить»).

В результате митоза происходит сначала удвоение, а затем равномерное распределение наследственного материала между двумя ядрами дочерних клеток.

Различают четыре *фазы*, или стадии, митоза, следующие одна за другой: первая фаза — *профаза*, вторая — *метафаза*, третья — *анафаза* и четвёртая, завершающая, — *телофаза* (рис. 22).

Профаза: увеличивается объём ядра, ядерная мембрана распадается. В результате спирализации молекул ДНК хромосомы укорачиваются и утолщаются. К концу профазы чётко видны удвоенные хромосомы, состоящие из двух нитевидных копий — *хроматид*, образующихся в результате удвоения (репликации) ДНК. Хроматиды соединены перетяжкой — *центромерой* (рис. 23). На полюсах клетки из микротрубочек формируется аппарат, обеспечивающий расхождение хромосом, — веретено деления.

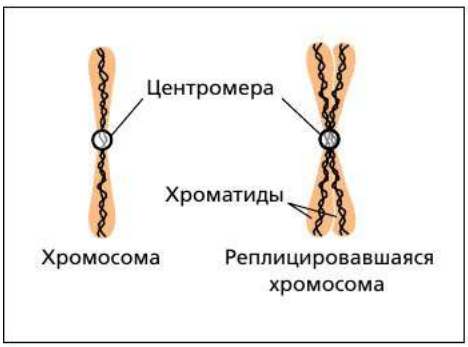


Рис. 23. Удвоение хромосомы

Метафаза: хромосомы перемещаются в середину клетки, каждая из них состоит из двух хроматид, соединённых центромерой. Нити веретена деления одним концом прикреплены к центромерам.

Анафаза: центромеры разъединяются и удаляются друг от друга, связанные с ними нити веретена деления укорачиваются, и хроматиды расходятся к противоположным полюсам веретена.

Телофаза: на противоположных концах клетки формируются новые ядра, хромосомы в новых ядрах становятся тонкими, невидимыми в микроскоп, вновь появляется ядрышко, и образуется оболочка ядра.

Одновременно с телофазой начинается разделение цитоплазмы. Вначале образуется перетяжка (перегородка) между дочерними клетками. Спустя некоторое время содержимое клетки оказывается разделённым. Так образуются две полностью разделённые дочерние клетки с одинаковыми ядрами. Но существуют клетки (эритроциты, нейроны), которые не делятся. Процесс митоза занимает приблизительно 1–2 ч. Продолжительность его различается у разных типов клеток. Зависит он также и от условий окружающей среды.

Благодаря митозу дочерние клетки получают точно такую же генетическую информацию, какая содержится в материнской клетке.

Клеточный цикл. Существование клетки от момента её возникновения до разделения на дочерние клетки называют *жизненным циклом* клетки или ***клеточным циклом***. В жизненном цикле клетки выделяют два этапа (или стадии).

Первый этап клеточного цикла — подготовка клетки к делению. Его называют ***интерфазой*** (лат. *inter* — «между» и греч. *phasis* — «появление») (см. рис. 22). Интерфаза в клеточном цикле занимает самый большой (до 90 %) промежуток времени. В этот период в клетке отчётливо видны ядро и ядрышко. Идёт активный рост молодой клетки, осуществляются биосинтез белков, их накопление, подготовка молекул ДНК к удвоению, а затем и удвоение (репликация) всего материала хромосом. Во время удвоения хромосомы не видны. Удвоенная хромосома состоит из двух половинок, содержащих по одной двухцепочечной молекуле ДНК. Характерными признаками интерфазных клеток являются деспирализация (раскрученность) хромосом и их равномерное распределение в виде рыхлой массы по всему ядру.

На *втором этапе клеточного цикла* происходит митоз — разделение клетки на две дочерние.

После разделения каждая из двух дочерних клеток вновь вступает в период интерфазы. С этого момента они начинают новый (теперь уже их собственный) клеточный цикл.

Клеточный цикл состоит из двух стадий — интерфазы и митоза.

Дочерние клетки генетически идентичны родительской. Каких-либо изменений в генетическом аппарате здесь не происходит. Поэтому все клетки, появляющиеся в процессе митотического деления, и образовавшиеся из них ткани обладают генетической однородностью.

1. Объясните различия в процессах клеточного деления у прокариот и эукариот.
2. Почему при бесполом размножении потомки идентичны родителю?
3. Охарактеризуйте процесс митоза и особенности каждой его стадии.
4. Замените выделенные слова соответствующими терминами.
- Во время *первой фазы митоза* хромосомы становятся видимыми.
- В конце *третьей фазы митоза* хромосомы находятся на противоположных полюсах клетки.
- *Структуры клетки*, содержащие генетическую информацию, становятся видимыми только во время митоза.

Лабораторная работа № 2

Тема: Рассматривание микропрепаратов с делящимися клетками растения

Цель работы: изучение делящихся клеток.

Оборудование: микроскоп, готовые микропрепараты с делящимися клетками кончика корня.

Ход работы

1. Рассмотрите микропрепарат сначала при малом, а затем — при большом увеличении.
2. Найдите на микропрепарате делящиеся клетки. Определите, какие фазы деления клеток зафиксированы на препарате.
3. Сосчитайте количество делящихся клеток, которые находятся в поле зрения (не сдвигая микропрепарат под микроскопом).
4. Сосчитайте количество неделящихся клеток, находящихся в поле зрения под микроскопом.
5. Зарисуйте делящиеся клетки в таблице по образцу:

Фаза деления клетки	Вид клетки во время фазы деления
Профаза	
Метафаза	
Анафаза	
Телофаза	

Краткое содержание главы

1. Клетка является элементарной структурной единицей живой материи. Все организмы, кроме вирусов, состоят из клеток.

2. Несмотря на большое разнообразие клеток (прокариотических, эукариотических), все они сходны между собой, что свидетельствует об универсальности их структуры, процессов жизнедеятельности и функций в природе, а следовательно, и о единстве происхождения живой материи.

3. Состав химических элементов в клетке сходен с их составом в оболочках Земли. Химические элементы в клетке присутствуют в виде ионов различных неорганических веществ (вода, минеральные соли, кислоты, кислород, углекислый газ) и органических веществ.

4. Для клеток живых организмов характерно большое содержание органических веществ, среди которых преобладают четыре группы — углеводы, липиды, белки и нуклеиновые кислоты. Органические вещества в клетках присутствуют в виде полимеров (макромолекулы полисахаридов, белков, нуклеиновых кислот) и неполимерных веществ (липиды, аминокислоты, азотистые основания, моно- и дисахариды, нуклеотиды, АТФ и др.).

5. В живой клетке постоянно совершается обмен веществ (метаболизм). Он включает два взаимосвязанных процесса: ассимиляцию и диссимиляцию. Совокупность их химических реакций обеспечивает синтез новых соединений, необходимых для жизнедеятельности клетки, и расщепление уже имеющихся или поступающих веществ, сопровождающееся выделением энергии, которая необходима для осуществления синтетических процессов.

6. Метаболизм реализует связь клетки с окружающей средой: из внешней среды она получает энергию (в виде энергии солнечного света или с пищей) и минеральные вещества, во внешнюю среду выделяет конечные продукты обмена.

7. В процессе эволюции в осуществлении всех процессов жизнедеятельности клетки (реакций обмена веществ, процессов роста, развития, размножения) установилось согласованное взаимодействие между всеми её частями и внутриклеточными структурами. Это взаимодействие характеризуют строгая упорядоченность внутриклеточных структур, чёткое разграничение функций между ними, наличие и размещение определённых ферментов, обеспечивающих регуляцию всех процессов. Это обусловливает целостность клетки и позволяет рассматривать её как особую живую систему — биосистему клеточного уровня организации жизни.

8. В основе всех форм размножения лежит деление клетки. Клетки прокариот (бактерий) размножаются простым делением надвое. Размно-

жение клеток эукариот (растений, грибов, животных) происходит более сложно: вначале осуществляется деление ядра на две равнозначные части, а затем — деление цитоплазмы.

9. Наследственная информация о свойствах и признаках организмов заключена в молекулах ДНК: у бактерий — в одной кольцевой молекуле ДНК (условно называемой «хромосомой»), у эукариот — в линейных молекулах ДНК, совместно со специфическими белками образующих хромосомы. Нуклеоид прокариот находится в цитоплазме, а хромосомы эукариот — в ядре клетки.

10. В клеточном цикле важную роль играет интерфаза, в процессе которой происходит удвоение хромосом — носителей наследственной информации.

11. Процесс деления клетки надвое, во время которого происходит равнозначная передача её наследственных свойств дочерним поколениям, обеспечивает непрерывность жизни на Земле.

Подведём итоги

Что вы узнали из материалов главы 2 «Явления и закономерности жизни на клеточном уровне»?

Проверьте себя самостоятельно

1. Какова причина того, что структура и свойства клетки были открыты лишь в XIX–XX вв.?
2. Обоснуйте необходимость знаний о клетке в повседневной жизни.
3. Каковы основные структурные компоненты клетки?
4. Охарактеризуйте важнейшие процессы жизнедеятельности клетки.
5. Докажите, что клетка — биосистема и организм.
6. Почему формулирование клеточной теории ускорило исследование клетки?
7. Как клетка образует органические вещества?
8. В каких процессах жизнедеятельности клетки участвует АТФ?
9. Что обозначают термином «комплементарность»?
10. Охарактеризуйте процесс репликации.
11. Назовите функции различных типов РНК в клетке.
12. Какую роль в клетке играет вода?
13. Что служит матрицей для синтеза иРНК?
14. Из каких этапов состоит клеточный цикл?
15. Какова биологическая роль интерфазы в жизни клетки?

Выполните задания

А. Сформулируйте правильный ответ.

1. Процесс первичного синтеза глюкозы происходит

а) в ядре
б) хлоропластах
в) рибосомах
г) лизосомах

2. В ядре информация о последовательности аминокислот с молекулы ДНК переносится на молекулу

а) рРНК
б) тРНК
в) иРНК
г) АТФ

3. Расхождение хроматид к полюсам клетки в процессе митоза происходит

а) в анафазе
б) телофазе
в) профазе
г) метафазе

Б. Уберите лишний термин.

- Фотолиз, клеточный цикл, интерфаза, митоз.
- Диссимиляция, ассимиляция, фотосинтез, хлоропласт.
- Мономер, полимер, ДНК, белок.

В. Исправьте ошибку в утверждении.

- Транскрипция завершает процесс синтеза белка в клетке.
- В цитоплазме находятся органоиды, митохондрии и хлоропласты.

Обсудите проблему в классе

1. Почему клетки прокариот, возникшие на Земле ранее других организмов и сохранившие черты примитивности своего строения, существуют на нашей планете и поныне?

2. Каким образом осуществляется управление процессами жизнедеятельности клетки?

Выскажите своё мнение

В чём ценность биологических знаний для личности и для общества?

Ваша позиция

Способствует ли знание строения и свойств клетки пониманию общих законов и закономерностей жизни?

Проведите наблюдения и сделайте вывод

Внимательно рассмотрите рисунки 22 и 23 учебника. Определите, на каких стадиях митоза (рис. 22) присутствуют хромосомы, внешний вид которых представлен на рисунке 23 слева, а на каких стадиях — справа. Сделайте вывод о биологической роли митоза.

Учимся создавать проекты, модели, схемы

- Подготовьте презентацию к докладу на тему «Размножение клеток прокариот и эукариот».
- Выполните динамическую модель митоза для школьного кабинета биологии. Сделайте эскиз предполагаемой модели, подберите материал для её выполнения. Раскрасьте модель красками.

Темы проектов для выполнения в группе

- Создание динамической модели биосинтеза белка в клетке.
- Выполнение проекта-презентации с рисунками и объяснительным текстом на тему «Биологическое разнообразие одноклеточных эукариот».
- Создание иллюстрированного атласа или электронного справочника на тему «Опасные и полезные бактерии».

- Науку, изучающую клетку, называют *цитологией* (греч. *kytos* — «клетка», «вместилище» и *logos* — «учение»). Цитология исследует состав, строение и функции клеток многоклеточных и одноклеточных организмов. Эта наука ведёт свою историю с середины XIX в., но корни её уходят в XVII в. Развитие знаний о клетке во многом связано с усовершенствованием технических устройств, позволяющих её рассмотреть и изучить.

- *Центромера* — небольшое фибриллярное тельце, осуществляющее первичную перетяжку хромосомы. Это важнейшая часть хромосомы, так как определяет её движение при митозе. Хромосома, лишённая центромеры, не способна совершать упорядоченное движение и может затеряться. Обычно центромера хромосомы занимает определённое место. Это служит одним из признаков, по которому различают хромосомы.

Прокариоты, эукариоты, органоиды клетки, мономеры, полимеры, нуклеиновые кислоты, нуклеотиды, ДНК, РНК, АТФ, ферменты, биосинтез, фотосинтез, метаболизм, ассимиляция, диссимиляция, гликолиз, клеточное (тканевое) дыхание, митоз, интерфаза, клеточный цикл.

Глава 3

Закономерности жизни на организменном уровне

Изучив эту главу, вы сможете характеризовать:

- организм как открытую биосистему;
- процессы размножения и индивидуального развития организмов;
- особенности организмов разных царств живой природы;
- закономерности наследования признаков;
- закономерности изменчивости у организмов.

Вы сумеете:

- объяснять особенности строения и жизнедеятельности вирусов;
- доказывать единство живой природы;
- сравнивать деление клетки при митозе и мейозе;
- объяснять роль гена в наследовании признаков;
- доказывать роль изменчивости в проявлении признаков у организмов.

§ 14 Организм — открытая живая система (биосистема)

Вспомните

- почему клетку называют биосистемой;
- что организмы бывают одноклеточными и многоклеточными.

Организм — живое существо. Любой организм — это отдельное живое существо (особь), реализующее жизнь на нашей планете. Поэтому организмы называют *элементарными структурными единицами жизни.*

Все живые организмы независимо от их формы и размеров (от нескольких микрон у некоторых бактерий до десятков метров у растений) служат носителями жизни, обладают основными свойствами живого. Они способны питаться, дышать, осуществлять обмен веществ, удалять ненужные веще-

ства, расти, развиваться, размножаться, взаимодействовать с окружающей средой и приспосабливаться к её изменениям. При этом все живые организмы обладают сходными потребностями — в пище как источнике веществ и энергии и в комплексе условий среды как определённом жизненном пространстве с пищевыми ресурсами, используемом для укрытия, размножения и расселения по земной поверхности.

Свойства организма присущи всем представителям организменного уровня жизни.

Все процессы жизнедеятельности организма осуществляются благодаря функционированию соответствующих органов. Отделить работу одного органа от другого невозможно, так как все они тесно связаны между собой, работают согласованно, дополняя друг друга. Органы многоклеточного организма, как и органоиды одноклеточного, — это не просто сумма каких-то случайных частей тела, а специализированные компоненты, выполняющие разные, но необходимые функции, благодаря которым организм проявляется как целостность, совокупность взаимодействующих органов, обеспечивающих его жизнедеятельность. Взаимосвязанная работа органов обусловливает свойства организма как особой элементарной единицы жизни.

Каждый организм представляет собой совокупность взаимодействующих органов, тесно связанных между собой.

Важным признаком любого организма (даже неклеточного — вируса) служит строгая взаимозависимость всех его отдельных частей (органов, тканей, клеток). Нарушение работы одного из органов может привести к нарушению деятельности остальных. Например, если корни не будут обеспечивать поглощение из почвы воды с растворёнными в ней минеральными солями, то всё растение вскоре погибнет. Животное, если у него не будут работать пищеварительные органы, или органы дыхания, или другие органы, погибнет.

Взаимосвязанная работа органов обеспечивает целостность организма, функционирующего как живая система — биосистема.

Биосистема «организм» представляет собой систему *открытого типа*, поскольку из внешней среды организм потребляет необходимые ему вещества и энергию, а в среду удаляет ненужные продукты обмена веществ.

Следует отметить способность биосистем к *самоподдержанию* (самосохранению), т. е. способность сохранять своё существование в течение какого-то определённого срока, свойственного данному виду организмов. Так, слон, шимпанзе в благоприятных условиях могут прожить 50–60 лет, ель и сосна — 400–500 лет, овёс, лён и подсолнечник — не более 5–6 месяцев. Многие бактерии живут 20–40 минут, а дрожжи и того меньше.

Одной из причин более длительного периода жизни многоклеточных организмов является постоянная замена клеток, отживших свой срок, в их тканях и органах. Так, клетки печени человека обновляются примерно каждые 18 месяцев, эритроциты живут около четырёх месяцев, а клетки эпителия тонкого кишечника и клетки полости рта существуют один — три дня. Есть и такие клетки, которые живут с момента появления в эмбрионе многоклеточного организма до конца его жизни, — нейроны, в которых постоянно происходит обновление внутриклеточного состава.

Регуляция физиологических процессов. Важным свойством биосистем служит *саморегуляция* их физиологических процессов. У одноклеточных организмов процессы жизнедеятельности регулируются посредством изменения концентрации ионов в цитоплазме и обмена химическими веществами между внешней и внутренней средой. У многоклеточных организмов выработался особый механизм, обеспечивающий согласованное протекание процессов их жизнедеятельности, — *гуморальная регуляция*.

У животных она осуществляется при участии биологически активных веществ — ионов, продуктов обмена веществ, гормонов, которые выделяются клетками и тканями в жидкие среды организма — кровь, лимфу, тканевую жидкость.

Регуляцию жизнедеятельности растительного организма, помимо продуктов обмена веществ, осуществляют *фитогормоны* — биологически активные соединения.

В ходе эволюции животного мира гуморальная регуляция процессов жизнедеятельности организмов постепенно дополнялась более совершенными механизмами *нервной регуляции*. У высокоразвитых животных и человека гуморальная регуляция подчинена нервной регуляции и составляет совместно с ней единую систему *нейрогуморальной регуляции*.

Регуляция процессов жизнедеятельности осуществляет в организме согласованное взаимодействие всех его органов, тканей и клеток.

Способность биосистемы «организм» к саморегулированию обеспечивает *гомеостаз* (греч. *homoios* — «одинаковый» и *stasis* — «состояние») организма, т. е. постоянство состава и свойств его внутренней среды (межклеточной жидкости, лимфы, крови). Гомеостаз обусловливает возможность организма противостоять изменениям процессов своей жизнедеятельности под воздействием факторов внешней среды.

1. Почему живые организмы относят к открытым биосистемам?
2. В чём отличие биосистемы «организм» от биосистемы «клетка»?
3. Охарактеризуйте регуляцию физиологических процессов у организма.
4. Что служит главным признаком биосистемы «организм»?

§ 15

Примитивные организмы

Вспомните

- что организм — это структурная единица жизни;
- что организм является биосистемой.

Формы организмов. Живые организмы очень разнообразны. Они различаются по способу питания (автотрофы и гетеротрофы), особенностям строения (одноклеточные, многоклеточные, неклеточные), продолжительности жизни, поведению, полу (мужские и женские). При этом все организмы обладают индивидуальным запасом наследственной информации, доставшейся каждой особи от родителей.

В процессе эволюции на Земле возникли три формы организмов — *одноклеточные*, *многоклеточные* и *неклеточные*, которые различаются между собой по строению, физиологическим процессам и значению в природе. Среди одноклеточных организмов в природе существуют прокариотические (доядерные) и эукариотические (ядерные) формы.

Рассмотрим вначале особенности одноклеточных доядерных организмов — бактерий и группу неклеточных организмов — вирусов.

Бактерии и их свойства. Бактерии — очень древние и довольно примитивные по строению и свойствам организмы. Их клетки намного (на порядок) мельче клеток эукариотических одноклеточных организмов. Их ядерное вещество представлено одноцепочечной кольцевой ДНК (условно называемой «хромосомой»). Поэтому бактерий относят к гаплоидным организмам. Бактериальная ДНК не отделена от цитоплазмы мембраной, а, прикрепившись к плазматической мембране, находится непосредственно в цитоплазме (см. рис. 21). Ядерное вещество (бакДНК) в клетке бактерий называют нуклеоидом (лат. *nucleus* — «ядро» и греч. *eidos* — «вид»). Поэтому бактерий относят к доядерным организмам, выделив их в особое надцарство Доядерные, или Прокариоты.

Строение бактерий. Снаружи плазматической мембраны клетки бактерии обычно находится прочная клеточная стенка, в состав которой входит *муреин* (гликопротеид). Клеточная стенка окружена слизистой капсулой. У некоторых бактерий имеются жгутики. Цитоплазма неподвижна и не разделена мембраной на внутренние отделы, содержит рибосомы, которые заметно мельче рибосом эукариот.

По внешнему виду среди бактерий различают: палочковидные — *бациллы*, округлые — *кокки*, цепочки из кокков — *стрептококки*, грозди кокков — *стафилококки*, спиралевидные — *спириллы*, изогнутые в виде запятой — *вибрионы*. Форма бактерий служит важным морфологическим

признаком, широко используемым для определения их таксономических групп и принадлежности к определённому виду в систематике бактерий.

За длительный период существования бактерий необычайно выросло количество и разнообразие их форм. В настоящее время изучено около 3000 видов бактерий.

По способу получения энергии бактерий подразделяют на *автотрофов* и *гетеротрофов*. Среди бактерий-автотрофов есть *фотосинтезирующие*, или *фототрофы*, — цианобактерии, зелёные и пурпурные бактерии. Другие автотрофы получают энергию за счёт окисления неорганических веществ (сероводорода, серы, аммиака и др.). Этот путь образования органических веществ называют *хемосинтезом*, а бактерий — *хемосинтезирующими*.

Большинство видов бактерий — гетеротрофы, т. е. организмы, питающиеся готовыми органическими веществами (сапротрофы, паразиты, симбионты). В природе практически нет органических веществ, которые бы не перерабатывались бактериями.

По отношению к кислороду бактерий делят на *аэробных*, по своему обмену веществ нуждающихся в кислороде, и *анаэробных*, способных жить в бескислородных условиях. Некоторые бактерии для получения энергии используют анаэробный ферментативный способ расщепления органических веществ — *брожение*.

Образ жизни бактерий. Бактерии населяют все среды жизни, способны обитать в любых условиях. При наступлении неблагоприятных условий клетки бактерий покрываются плотной защитной оболочкой — образуют споры, сохраняющие свою жизнеспособность в течение длительного времени (сотен и даже тысяч лет). Споры бактерий — это способ защиты организма от действия неблагоприятных факторов среды, а не способ размножения, как у эукариот. В благоприятных условиях спора пробуждается и начинает процесс жизнедеятельности.

Размножение бактерий осуществляется простым делением клетки надвое.

Значение бактерий. Роль бактерий в природе огромна. Они участвуют в переработке любого органического вещества. Способствуя повышению плодородия почвы, они играют важную роль в сельском хозяйстве. Являясь компонентом биологического круговорота веществ, разлагая органические вещества, бактерии выполняют функцию санитаров биосферы. Это свойство бактерий человек использует в различных очистных сооружениях. Многие виды бактерий широко используются в пищевой промышленности, особенно при получении молочнокислых продуктов.

Среди бактерий немало болезнетворных (патогенных) видов, являющихся возбудителями многочисленных инфекционных заболеваний человека, животных и грибов.

Науку, изучающую многообразие, строение и свойства бактерий, называют *микробиологией*.

Вирусы представляют собой *неклеточную* (промежуточную между живой и неживой материей) *форму* жизни. Это очень древние организмы, они появились на Земле задолго до эукариот. Эти организмы, выделяемые в особое царство Вирусы, имеют очень простое строение. Каждая вирусная частица (*вирион*) содержит молекулу нуклеиновой кислоты (РНК или ДНК), окружённую белковой оболочкой (рис. 24).

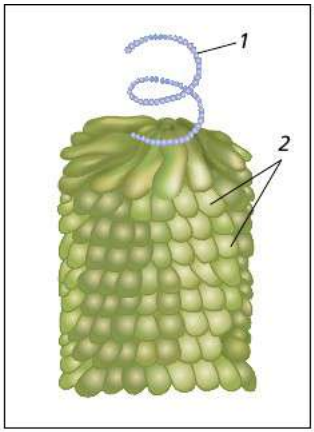


Рис. 24. Схема строения вируса табачной мозаики: *1* — РНК; *2* — белковые частицы

Вирусы герпеса, натуральной оспы содержат ДНК, а вирусы кори, краснухи, гриппа, СПИДа, табачной мозаики — РНК.

Отличительная особенность вирусов — способность размножаться только в живых клетках. Проникая в клетку, вирус внедряется в её генетический аппарат. В итоге поражённая клетка начинает производить вирусную нуклеиновую кислоту и вирусные белки. Группу вирусов, избирательно поражающих бактерии и паразитирующих на них, называют *бактериофагами* — «пожирателями бактерий» (греч. *phagos* — «пожирающий»)(рис. 25).

Вирусы являются возбудителями многих болезней растений, грибов, животных и человека. Они вызывают такие заболевания, как гепатит, полиомиелит, оспа, грипп, ящур и др.

Вирусы (вирус табачной мозаики) были открыты российским учёным Д.И. Ивановским в 1892 г. Сегодня известно около 500 видов вирусов, вызывающих различные заболевания. Однако их большее количество ещё не описано и не изучено. Вирусы играют огромную роль в природных экосистемах, регулируя численность всех других организмов.

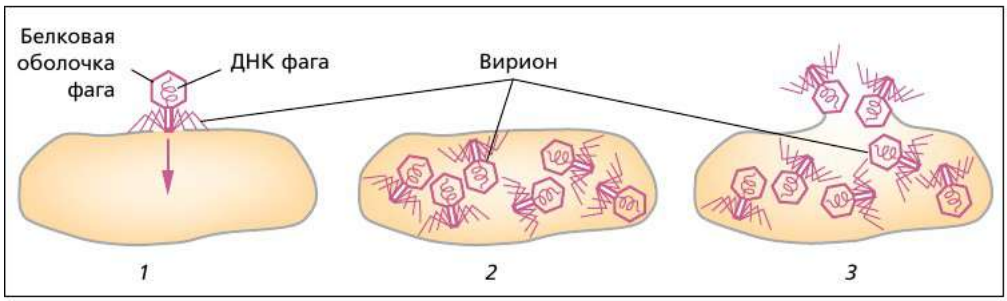


Рис. 25. Схема заражения и размножения вируса-бактериофага в клетке бактерии: *1* — фаг внедряет свою ДНК в бактерию; *2* — в бактерии образуются новые фаги; *3* — фаги выходят наружу через разрыв клеточной стенки погибшей бактерии

1. Как осуществляется регулирование процессов жизнедеятельности в клетках бактерий, не имеющих ядра?
2. Какие типы обмена веществ свойственны бактериям?
3. Какую роль в жизни бактерий выполняют споры?
4. В чём состоит главное отличие вируса от бактерии?

§ 16

Растительный организм и его особенности

Вспомните

- что растения принадлежат к эукариотам;
- что клетки зелёных растений содержат хлорофилл.

Отличительные особенности растительных организмов. Растения — очень разнообразная и многочисленная группа организмов, представляющая особое царство органического мира — царство Растения. Среди растений есть одноклеточные и многоклеточные формы. Они населяют водную, наземно-воздушную и почвенную среды, куда проникают лучи солнечного света.

Первой и *главной особенностью* растений служит способность преобладающего большинства из них (кроме паразитических видов) поглощать энергию солнечного света для осуществления фотосинтеза — процесса создания органических веществ из неорганических — углекислого газа и воды. Таким образом, по способу питания растения являются автотрофами. Эту способность растения приобрели в процессе эволюции с момента появления в их клетках зелёных пластид — хлоропластов, содержащих пигмент хлорофилл.

Вторая особенность растений состоит в том, что они, в отличие от других живых существ, способны обогащать воздух кислородом. Кислород, выделяемый растениями, является продуктом процесса фотосинтеза. Во внешнем слое атмосферы кислород превращается в озон. Слой озона является надёжным экраном, защищающим всё живое на нашей планете от губительного воздействия ультрафиолетового излучения.

Третья особенность растений — их неспособность к активному передвижению по земной поверхности. Лишь одноклеточные растения (например, хламидомонада) с помощью жгутиков или ресничек активно передвигаются в воде. Подобное существование — прикреплённый образ жизни — сочетается у растения со способностью к росту в течение всей жизни, к увеличению числа и размеров слагающих его тело органов. Благодаря этому увеличивается поверхность организма, через которую в растение

поступают питательные вещества. Растениям свойственны *ростовые движения* — они поворачивают листья и цветки в сторону света, раскрывают и закрывают свои цветки, их лиановидные стебли обвиваются вокруг опоры, а кончик корня движется в сторону питательных веществ и пр. Ростовые движения, как и неограниченный, постоянно идущий рост побегов и корней, компенсируют неподвижность растений.

Особенности строения растительных организмов. Растения весьма разнообразны по строению и образу жизни. Существуют растения, тело которых не расчленено на органы, отличается довольно простым внутренним строением и не имеет специализированных тканей. Его называют *слоевищем* (*талломом*). К таким растениям (их условно называют «низшие») относят водоросли. Они обитают главным образом в воде, хотя встречаются и на суше, но обычно во влажных местах.

К высшим растениям принадлежат те, тело которых расчленено на органы. Сюда входят споровые (моховидные, плауновидные, хвощевидные, папоротниковидные), а также голосеменные и покрытосеменные (цветковые) растения.

У растений различают *вегетативные* и *репродуктивные* органы. Основными вегетативными органами высших растений являются корень (за исключением моховидных) и побег, состоящий из стебля, листьев и почек (рис. 26). Вегетативные органы обеспечивают процессы минерального питания, фотосинтеза, дыхания, а также вегетативное размножение растений. Репродуктивные органы (спороносные колоски, стробилы или шишки, цветки, плоды, семена) выполняют функции, связанные с половым (*генеративные органы*) и бесполым размножением растений, обеспечивают их воспроизводство и расселение по земной поверхности.

Для высших споровых и семенных растений характерно наличие различных тканей: покровной, основной, проводящей и механической.

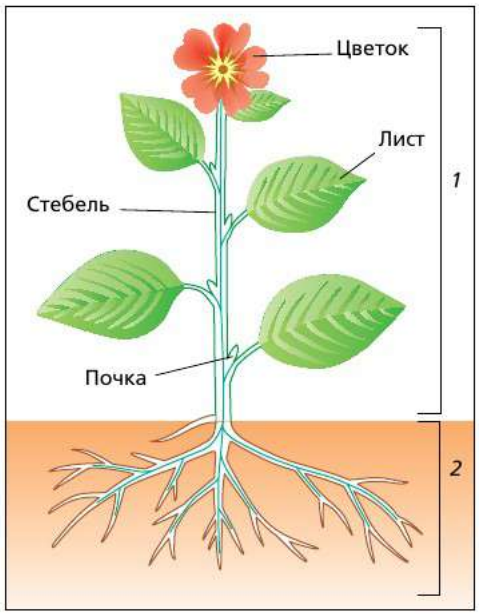


Рис. 26. Главные органы растения — побег *(1)* и корень *(2)*

Процессы жизнедеятельности растительных организмов. Самым важным ассимиляционным процессом у растений является *фотосинтез*, а диссимиляционным — *дыхание*. Дыхание происходит во всех живых клетках растения днём и но-

чью. Растение, как и человек, дышит кислородом, а выдыхает углекислый газ. Однако на свету, когда происходит фотосинтез, растение поглощает углекислого газа больше, чем выделяет при дыхании.

Фотосинтез у высших растений осуществляется в клетках *основной* ткани, в которых содержатся зелёные пластиды — хлоропласты. Она состоит из клеток двух типов. Под верхней кожицей располагаются в два-три плотных слоя клетки *столбчатой ткани*, а под ними рыхло лежат клетки *губчатой ткани*, имеющей *межклетники* — пространства, заполненные воздухом. В кожице, преимущественно с нижней стороны листа, имеются многочисленные образования — *устьица*, обеспечивающие газообмен и испарение воды растением.

Газообмен в листе происходит по закону диффузии (взаимного проникновения веществ). Днём, когда происходит фотосинтез, внутри листа концентрация углекислого газа уменьшается сравнительно с внешним воздухом, поскольку он расходуется на образование углеводов. Поэтому углекислый газ и проникает через устьица к межклетникам губчатой ткани, а оттуда к клеткам. В это же время из листьев выделяется кислород, освобождающийся в процессе фотосинтеза. Ночью наблюдается обратное явление: количество углекислого газа в листьях возрастает, и он выделяется в воздух, интенсивно происходит процесс дыхания.

Транспирация — процесс испарения воды листьями в основном через устьица. Благодаря испарению вокруг растения создаётся определённый микроклимат, необходимый для нормальной жизнедеятельности. Испарение в жаркую погоду способствует охлаждению листьев, передвижению воды и растворённых в ней веществ.

Минеральное питание — это совокупность процессов поглощения, передвижения и усвоения растениями химических элементов, получаемых из почвы в форме ионов минеральных солей. Для нормальной жизнедеятельности растениям нужны не только углеводы, образующиеся в процессе фотосинтеза, но и белки, жиры и другие вещества. Для их образования растению, кроме кислорода, водорода, из которых состоят углеводы, необходимы другие химические элементы. Их растение получает из почвы в виде минеральных веществ, следовательно, почва является источником минерального питания растений. Из почвы в растение поступают калий, фосфор, азот, бор, кальций, магний, сера, кобальт, марганец, медь, цинк и др. При недостатке в почве минеральных солей их вносят в виде минеральных удобрений.

Транспорт веществ в высших растениях осуществляется в виде восходящего и нисходящего потоков. Вода с растворёнными в ней веществами попадает в растение через корневые волоски, дальше поднимается по корню к стеблю и по стеблю — к листьям и другим органам (восходящий поток). Проводящая ткань, по которой движутся вода и минеральные соли, называется *ксилемой* или древесиной.

Ткань, по которой движутся органические вещества, образовавшиеся в листе (нисходящий поток), называется *флоэмой* или лубом. Флоэма расположена в коре. Проводящие клетки флоэмы — *ситовидные трубки* — живые, проводящие клетки ксилемы — сосуды — мёртвые.

Движение веществ происходит благодаря корневому давлению и транспирации. Под действием корневого давления раствор воды и минеральных солей через корневые волоски попадает в кору корня, а затем в сосуды ксилемы. По сосудам корня раствор поднимается к стеблю и по сосудам стебля движется вверх к листьям уже под действием силы транспирации.

Получая необходимые для жизнедеятельности вещества, растение растёт, развивается и размножается. Разрастаясь, корневая система увеличивает площадь минерального питания, а рост надземной части увеличивает площадь воздушного питания — фотосинтеза.

Взаимосвязь подземной и надземной частей обеспечивает жизнь растению как целостному организму.

Рост и *развитие* растений тесно связаны между собой, но не заменяют друг друга. Регуляция этих процессов осуществляется биологически активными химическими соединениями — *фитогормонами* (ауксинами, гиббереллинами и др.). Рост растения обеспечивается *меристемами* — ограниченными участками тканей, клетки которых сохраняют постоянную способность к делению. Развитие растений — это те качественные изменения, которые происходят в растении на протяжении всей его жизни.

Размножение — основная биологическая функция всякого живого организма. В одних случаях размножением завершается жизненный путь, например у одноклеточных водорослей, однолетних и тех многолетних растений, у которых плодоношение бывает одни раз в жизни (бамбук, некоторые пальмы и др.). В других случаях размножение совершается многократно (многолетние травы, деревья и кустарники).

Размножение растений осуществляется бесполым и половым способами.

При ***бесполом размножении*** воспроизведение себе подобных происходит без участия половых клеток и без оплодотворения. У растений известно несколько способов бесполого размножения: бинарное деление, размножение с помощью спор, вегетативное размножение.

Бинарное деление лежит в основе размножения одноклеточных зелёных водорослей (например, хлореллы, хламидомонады): каждая особь (клетка) делится на две дочерние путём митоза. Дочерние клетки ничем не отличаются от родительской, получая тот же набор хромосом.

Многие растения (водоросли, мхи, хвощи, плауны, папоротники) размножаются с помощью *спор*. Споры растений — это гаплоидные клетки, покрытые специальной оболочкой, защищающей их от вредного воздействия окружающей среды (холода, высыхания, перегрева и т. п.). Споры образуются преимущественно в специальных органах — *спорангиях*.

У наземных растений споры неподвижны и пассивно переносятся ветром, водой, животными. Некоторые водоросли размножаются *зооспорами*, которые имеют жгутики и активно передвигаются в водной среде. В благоприятных условиях среды оболочка споры раскрывается, спора прорастает и даёт начало новому организму. Спорообразование у высших растений — обязательная фаза их жизненного цикла, чередующаяся с половым размножением.

У растений широко представлено *вегетативное* размножение, в результате которого новый организм образуется из группы клеток материнского организма (какого-либо вегетативного органа растения или его части). Например, вегетативное размножение может осуществляться частью стебля или его видоизменениями: *черенками* (тополь), *усами* (земляника), *клубнями* (картофель), *луковицами* (лук, чеснок, тюльпан), *отводками* (смородина). У ряда многолетних растений (облепихи, малины, сливы) из придаточных почек на главных и боковых корнях развиваются надземные побеги — *корневые отпрыски*. Утолщёнными боковыми и придаточными корнями — *корневыми шишками* — размножают георгину. Некоторые растения размножают частью листа (бегония).

Половое размножение принципиально отличается от бесполого. Как вам уже известно из предыдущих курсов биологии, его особенностью является объединение наследственной информации двух родительских организмов в наследственном материале потомков. В половом размножении участвуют две особи — мужская и женская, и у каждой из них образуются гаплоидные половые клетки — гаметы: женские (*яйцеклетки*) и мужские (подвижные *сперматозоиды* у споровых растений или неподвижные, лишённые жгутиков *спермии* у семенных растений). Яйцеклетки у покрытосеменных растений развиваются в семязачатках пестика цветка, а у голосеменных — на чешуях женских шишек. Пылинки со спермиями формируются в пыльниках тычинок (у покрытосеменных) и в особых мужских шишечках (у голосеменных). К яйцеклетке пылинки доставляются или ветром, или насекомыми-опылителями (у цветковых растений).

Каждый дочерний организм возникает из *зиготы* — диплоидной клетки, образующейся в результате *оплодотворения* — слияния мужской и женской гамет. Половое размножение характерно для большинства растений.

Наиболее эффективное воспроизведение и расселение семенных растений обеспечивает семя, развивающееся после оплодотворения из семязачатка. У голосеменных оно формируется на поверхности чешуй шишки, а у покрытосеменных заключено в плод.

Для жизненного цикла растений характерно *чередование поколений* — полового (гаплоидного, т. е. с одинарным набором хромосом) и бесполого (диплоидного, т. е. с двойным набором хромосом). На одном формируются органы и клетки бесполого размножения — это *спорофит*, а на

другом образуются половые органы и половые клетки — это *гаметофит*. Приспосабливаясь к жизни на суше, наземные растения развивались по пути усовершенствования спорофита (бесполого поколения) и редукции (изменения) гаметофита (полового поколения).

Все перечисленные особенности свидетельствуют о том, что растительный организм — очень сложная биосистема, не только обеспечивающая свою жизнедеятельность, но и создающая условия для жизни всех живых существ на Земле.

1. Назовите отличительные особенности растительного организма.
2. По какой причине растения относят к автотрофам?
3. Какие группы растений размножаются семенами?
4. Охарактеризуйте функции главных органов растения.

§ 17 Многообразие растений и их значение в природе

Вспомните

- известные вам виды растений;
- какова роль растений в природе.

Многообразие растений. В процессе эволюции на нашей планете сформировалось огромное количество разнообразных растительных организмов, использующих энергию солнечного света в процессе своей жизнедеятельности. Растения бывают *споровые* и *семенные*. Среди них есть примитивные (одноклеточные) и более сложные формы. Клетки растений — типичные эукариотические клетки.

Споровые растения делят на две группы: *низшие споровые* растения (водоросли) и *высшие споровые* растения (мхи, папоротники, хвощи и плауны). У высших споровых растений, в отличие от низших, тело дифференцировано на органы. У них есть побег с листьями, у некоторых — специальные выросты для прикрепления к субстрату — ризоиды или придаточные корни, сформированы некоторые ткани. Рассмотрим вначале споровые растения.

Водоросли. Тело многоклеточных водорослей представляет собой *слоевище* (или *таллом*), состоящее из множества однотипных клеток, поглощающее различные вещества из внешней среды всей своей поверхностью. Оно не имеет сосудов и тканей. Тем не менее, несмотря на примитив-

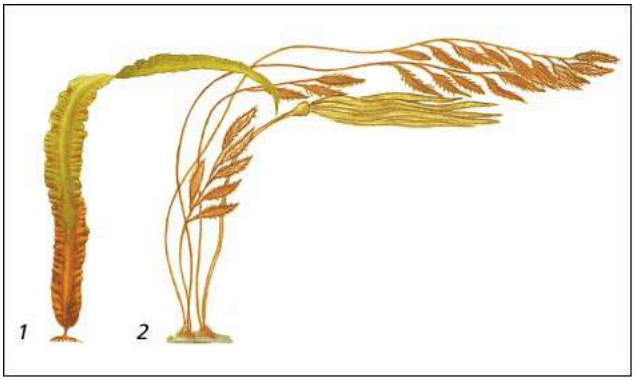


Рис. 27. Бурые водоросли: *1* — ламинария; *2* — макроцистис

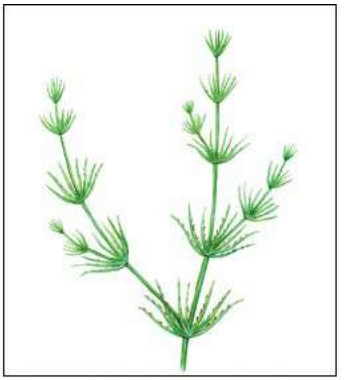


Рис. 28. Зелёная водоросль хара ломкая

ное строение, некоторые водоросли достигают очень крупных размеров. Так, длина слоевища бурой водоросли *ламинарии* (морской капусты) может достигать нескольких метров. Известны виды водорослей, имеющих слоевище 60–100 м в длину (рис. 27). Различают следующие отделы водорослей: Зелёные, Бурые, Красные, Диатомовые и др.

Некоторые водоросли характеризуются более сложным строением, имеют отдельные ткани и органы, например *хара ломкая* (рис. 28). Представителей отдела Зелёные водоросли многие учёные считают предками всех наземных растений.

Размножаются водоросли бесполым и половым путём.

В клетках водорослей присутствуют хлорофилл и другие пигменты (жёлтый, синий, красный), благодаря которым они имеют зелёную, бурую, красную или жёлто-зелёную окраску слоевища. Водоросли образуют органические вещества и кислород в результате фотосинтеза. Некоторые служат пищей другим организмам, в том числе человеку. В водных экосистемах водоросли формируют особую среду, где многие водные организмы находят не только пищу, кислород, но и укрытия для икрометания и выращивания личинок.

В пресноводных водоёмах часто можно встретить различных представителей *зелёных* водорослей: одноклеточных (хлорелла, хламидомонада), многоклеточных (спирогира, улотрикс) и колониальных (вольвокс). В солёноводных водоёмах, помимо зелёных водорослей, встречаются одноклеточные *диатомовые* водоросли и очень крупные многоклеточные *бурые* (ламинария, фукус). На больших глубинах (до 120 м) обитают *красные* водоросли (порфира).

Отдел ***Моховидные*** — отдел высших споровых растений (кукушкин лён, сфагнум, мниум, ричия). Мхи — травянистые, многолетние, как правило, низкорослые растения (до 50 см в высоту), не имеющие корней. У не-

которых мхов для прикрепления к субстрату имеются ризоиды. У одних видов тело представлено слоевищем, у других оно расчленено на листья и стебель. Мхи не имеют настоящих проводящих тканей — ксилемы и флоэмы. Обитают во влажных местах. Размножаются мхи спорами, которые созревают в спорангиях на спорофите. Половое поколение (гаметофит) преобладает — им практически является всё растение. Могут размножаться вегетативно. Способны накапливать воду в крупных клетках и межклетниках, способствуя заболачиванию почвы.

Папоротники, хвощи и плауны. Представители этих групп растений по многим свойствам очень сходны между собой. Все они — древние растения, имеющие покровную, основную, проводящую и механическую ткани, придаточные корни. Вырастают до 50–90 см в высоту. Споры формируются в спорангиях на спороносных колосках (плауны и хвощи) и на листьях (папоротники). Из споры развивается *заросток (гаметофит)*, на котором образуются мужские и женские половые клетки — гаметы. После оплодотворения развивается зелёное растение — спорофит. Для оплодотворения необходима вода во внешней среде. Для жизненного цикла развития характерна смена поколений: стадия гаметофита (заросток) и стадия спорофита (взрослое зелёное растение) (рис. 29).

Современные папоротники, хвощи и плауны — преимущественно травы (исключение составляют древовидные папоротники в тропических лесах, достигающие 3–5 м в высоту). Некоторые из них употребляют в пищу, используют как лекарство и в декоративных целях.

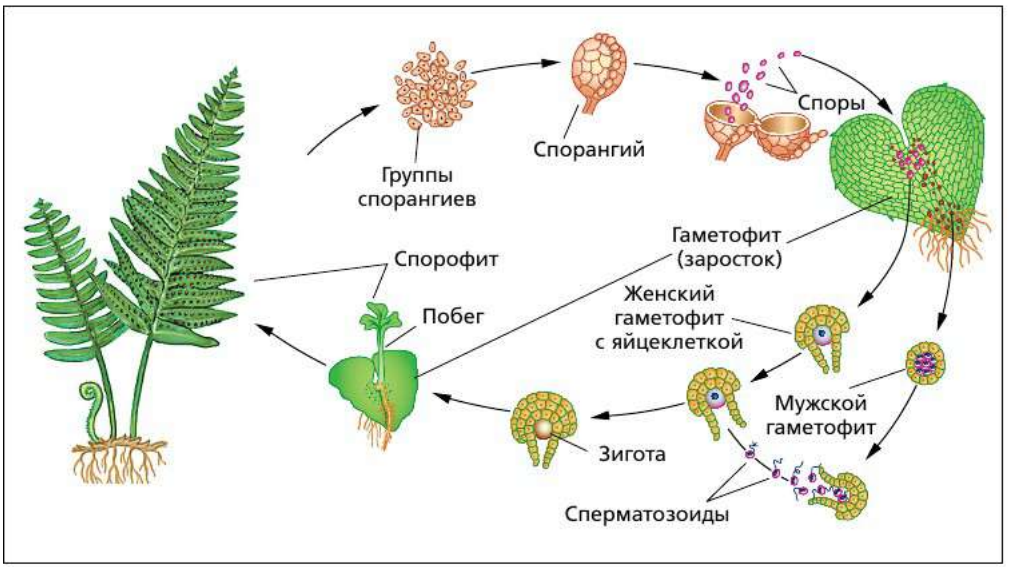


Рис. 29. Схема цикла развития папоротника

Крупные древовидные папоротники, хвощи и плауны, занимавшие господствующее положение на нашей планете примерно 350 млн лет назад, отмирая, попадали в воду, минерализовались и образовывали мощные слои каменного угля.

Семенные растения подразделяют на два отдела — Голосеменные и Покрытосеменные (или Цветковые). Для них характерно размножение семенами. Семя — многоклеточный орган, в котором находится зародыш растения и запасные питательные вещества (в семядолях или в эндосперме), необходимые для развития зародыша. Семя у всех семенных покрыто семенной кожурой. Семя у голосеменных дополнительно не защищено. У некоторых их представителей оболочка семени утолщается, образуя скорлупу. Семя у покрытосеменных защищено околоплодником.

У семенных растений оплодотворению — слиянию яйцеклетки с мужской гаметой — предшествует опыление. Рост пыльцевой трубки в семязачатке семенных делает возможным осуществление этого процесса без участия воды. Семена обеспечивают не только размножение и успешное развитие проростка растения, но и распространение растений по земной поверхности. Практически все семенные растения обеспечивают пищей различные организмы и создают особую среду их обитания.

Отдел Голосеменные. В этом отделе различают следующие классы: *саговниковые* (саговниковая пальма), *гинкговые* (гинкго двулопастное) и *хвойные* (ель, сосна, лиственница, можжевельник). Жизненные формы голосеменных — деревья и кустарники. Они не имеют цветков. Семена развиваются из семязачатков, лежащих открыто (голо) на поверхности чешуй шишек. Отсюда их название — голосеменные.

У хвойных есть шишки мужские (жёлтые мягкие) и женские (зелёные твёрдые). Пыльца приносится ветром. У ели между опылением, оплодотворением и созреванием семян проходит обычно 10–11 месяцев, а у сосны — более двух лет. Поэтому на сосне в одно и то же время можно увидеть шишки первого, второго и третьего года (раскрывшиеся сухие). Хвойные — вечнозелёные (исключая лиственницу) растения. Их игловидные, колючие листья — хвоинки — могут жить несколько лет, хорошо приспособлены к условиям жаркого лета и холодной зимы. Лиственница, в отличие от других хвойных, имеет мягкие хвоинки, которые ежегодно сбрасывает осенью, а весной из почек вырастают новые.

Хвойные растения используют в строительстве, производстве лекарств, бумаги, смолы, зелёного корма для скота, а «кедровые орешки» — семена *сосны сибирской* — в пищу.

Отдел Покрытосеменные, или ***Цветковые***, — большая и разнообразная группа растений. Их главной особенностью является наличие органа размножения — цветка. Этот отдел включает около 450 семейств. Самые крупные из них — злаки, сложноцветные, бобовые, орхидные.

Покрытосеменные растения представлены различными жизненными формами — деревьями, кустарниками, полукустарниками, лианами, травами. Произрастают во всех климатических зонах и в самых различных экологических условиях.

В отличие от голосеменных растений семена покрытосеменных находятся внутри плода (отсюда их название). Наличие плода — один из основных признаков представителей этого отдела.

Особенностью покрытосеменных растений является *двойное оплодотворение*, при котором один из спермиев сливается с яйцеклеткой, а второй — с ядром диплоидной клетки в центре зародышевого мешка. Из оплодотворённой яйцеклетки затем развивается зародыш, а из центральной клетки — эндосперм семени, содержащий питательные вещества (рис. 30).

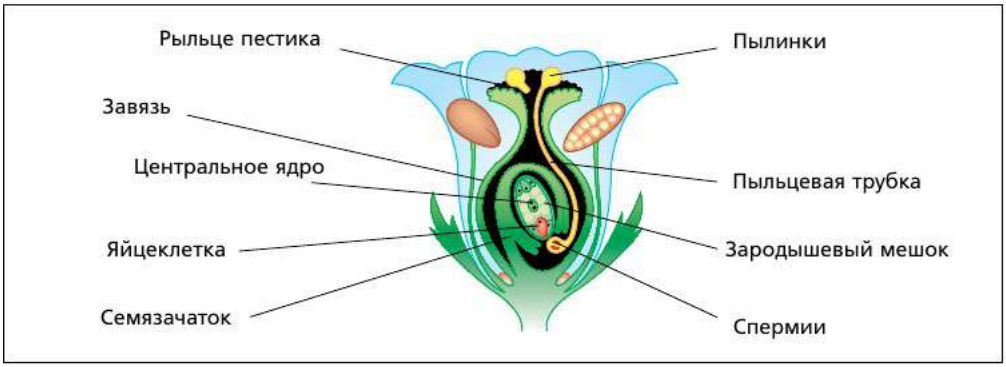


Рис. 30. Оплодотворение у цветкового растения

В отделе покрытосеменных по строению семени различают два класса — *однодольные* и *двудольные растения*. Двудольные — это фасоль, яблоня, томат, капуста, астра, мак, однодольные — пшеница, кукуруза, рис, лук, ландыш, лилия.

Для покрытосеменных растений характерны различные жизненные формы: деревья, кустарники, кустарнички и разнообразные травы. Благодаря этому покрытосеменные широко распространились по земному шару. Многие виды покрытосеменных человек выращивает как культурные растения.

1. Поясните, как происходит прорастание семени.
2. Укажите главное отличие голосеменных растений от покрытосеменных.
3. Почему моховидные растения не достигают большой высоты?
4. По какой причине именно на основе покрытосеменных растений человек стал создавать культурные формы?

§ 18

Организмы царства грибов и лишайников

Вспомните

- почему водоросли называют низшими споровыми растениями;
- различие между спорами и семенами.

Грибы — одна из самых больших и разнообразных групп, среди которых много одноклеточных и многоклеточных организмов. Они, как и бактерии, населяют все среды жизни. Всё многообразие грибов объединяют в одно царство потому, что их организм существенно отличается от организма бактерий, растений и животных. В то же время своеобразие грибов состоит в сочетании признаков и растений, и животных.

Грибы — организмы, которые обладают всеми свойствами эукариот. В их клетках есть ядро, окружённое двойной мембраной, различные мембранные и немембранные органоиды.

Грибы, как и растения, неподвижны, ведут прикреплённый образ жизни и растут на протяжении всей своей жизни. Клетки грибов имеют прочные клеточные стенки. Из запасных веществ содержат гликоген, дышат кислородом и размножаются спорами. У многих видов грибов часть тела размещается в почве, а другая часть — в надземной среде. В клетках некоторых видов грибов, как и у ряда водорослей, имеется не одно, а несколько ядер. Все эти признаки сближают грибы с растениями, поэтому их долгое время относили к низшим споровым растениям.

Однако у грибов много признаков сходства с животными. Их клетки не содержат хлорофилла, поэтому грибы питаются готовыми органическими веществами, как гетеротрофы. В стенке клеток грибов, как у некоторых животных (например, членистоногих), содержится хитин, углеводы запасаются преимущественно в виде гликогена. И эволюционно грибы очень близки к животным.

Специфические свойства грибов. Уникальность грибов характеризуют их специфические свойства. Тело гриба — *грибница* (или *мицелий*) состоит из тонких ветвящихся трубчатых нитей — *гиф*, которые образованы многоядерными или одноядерными клетками. У одних грибов нити грибницы разделены перегородками на отдельные клетки, у других представляют собой одну гигантскую многоядерную клетку. У грибов нет истинных тканей, но плотное волокнистое переплетение гиф, которое называют *ложной тканью*, внешне сходно с тканью растений. Из неё образовано плодовое тело гриба, в котором формируются споры. Размножаются грибы бесполым (участками грибницы и спорами) и половым способами. Живут грибы недолго, но есть среди них и многолетние виды.

Причём у многолетних долго живёт только грибница (подосиновик, белый гриб). А у ряда паразитических грибов (трутовики) несколько лет живёт и плодовое тело. Питаются грибы готовыми органическими веществами, всасывая их всей поверхностью тела. По типам питания грибы похожи на бактерий и представлены сапротрофами, паразитами, симбионтами и даже хищниками.

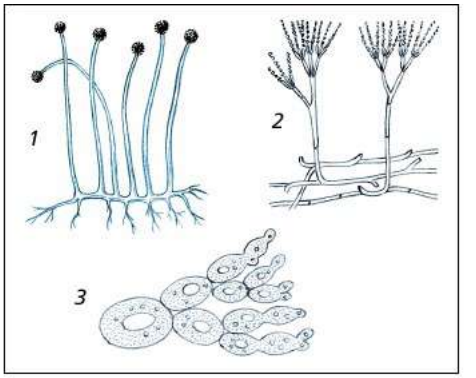


Рис. 31. Грибы: *1* — мукор; *2* — пенициллъ; *3* — дрожжи

Многообразие и значение грибов. *Одноклеточные грибы — дрожжи* — размножаются почкованием, являются анаэробами и сапротрофами, активно разлагают органические вещества. Используются в хлебопечении, виноделии, производстве кормов для животных (рис. 31, *3*).

Плесневые грибы (*пенициллъ*, *аспергилл*) имеют грибницу, разделённую на клетки, а у *белых плесневых* (*мукор*) многоядерный мицелий без поперечных стенок (рис. 31, *1*, *2*). Как сапротрофы плесневые грибы имеют большое значение в природе, уничтожая различные остатки органических веществ. Некоторые виды мукоровых грибов участвуют в образовании взаимополезного сожительства с корнями цветковых растений (пшеницы, томата, яблони, ели). Многие плесневые грибы используют для получения ценных химических веществ (витаминов, гормонов, ферментов, антибиотиков). Так, пенициллъ используют в производстве антибиотика — *пенициллина*.

Шляпочные грибы имеют крупное плодовое тело, состоящее из ножки и шляпки. На нижней поверхности шляпки формируются споры. По форме спороносной части среди шляпочных грибов различают *трубчатые* (белый гриб, подберёзовик) и *пластинчатые* (сыроежка, груздь). Есть съедобные и ядовитые грибы. Многие шляпочные грибы вместе с корнями деревьев, кустарников и трав образуют взаимополезное сожительство — микоризу (грибокорень).

Паразитические грибы наносят большой урон сельскому хозяйству. Среди них *спорынья* (поражает рожь), *головня* (поражает пшеницу, ячмень, овёс). Микроскопические грибы вызывают рак картофеля, «чёрную ножку» капусты, фитофтору паслёновых. Ржавчинные грибы поражают листья многих семенных и споровых растений, вызывая гибель их побегов. Есть грибы, вызывающие заболевания животных и человека, так называемые грибковые заболевания, например стригущий лишай у животных, поражение ногтей и кожи у человека.

Известно более 100 тыс. видов грибов. Их роль в природе огромна. Многие виды грибов заселили почву. Они участвуют в разложении (минерали-

зации) органических веществ и образовании гумуса. Образуя микоризу с корнями растений, грибы обеспечивают водное и минеральное питание растений.

Грибы служат ценной пищей для человека и многих диких животных, используются в фармацевтической промышленности. Однако существует большое количество видов ядовитых и паразитических грибов. Наука, изучающая царство Грибы, — *микология* — прилагает немало усилий в поиске способов лечения и предупреждения грибковых заболеваний человека, растений, животных.

Лишайники — симбиоз грибов с водорослями или цианобактериями — своеобразная группа живых организмов, произрастающих на всех без исключения континентах, даже в Антарктиде.

Гифы гриба образуют мицелий (грибницу), определяющий внешнюю форму лишайника. Между нитевидными гифами гриба размещаются клетки одноклеточной водоросли или цианобактерии. Клетки водоросли получают от сожительства с грибом защиту, необходимую влагу и минеральные соли, а гифы гриба получают от водоросли органическое питание и кислород. Водоросль в теле лишайника питается как автотроф, а гриб — как гетеротроф. Тесное взаимодействие гриба и водоросли создаёт своеобразный целостный организм. Тесное сожительство гриба и водоросли позволяет лишайникам существовать в любых условиях среды, там, где другие виды выжить не могут.

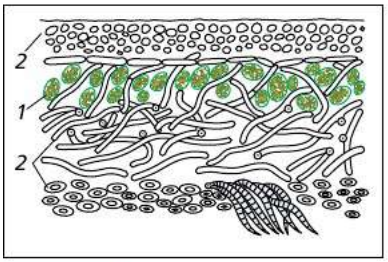


Рис. 32. Внутреннее строение лишайника на поперечном разрезе: *1* — клетки водорослей или цианобактерий; *2* — гифы гриба

Тело лишайника называют слоевищем (рис. 32). В его верхней части гифы гриба и клетки водоросли образуют густое переплетение, в нижней части — достаточно разреженное. От нижней поверхности слоевища отходят выросты, подобно ризоидам, которые закрепляют лишайник на субстрате.

По внешнему виду слоевища различают следующие типы лишайников: *накипные* (стенная золотянка), *листоватые* (пармелия), *кустистые* (ягель, исландский мох) и *бородовидные* (уснея). Большинство лишайников имеет слоевище небольшого размера — 3–7 см, кустистые — 15–20 см, а уснея вырастает в длину более чем на 1,5 м.

В тундре лишайники служат основным кормом для оленей. Некоторые виды лишайников люди используют в пищу, применяют в качестве красителей и в производстве лекарств. Лишайники способствуют накоплению органических веществ в почве и участвуют в круговороте веществ в биосфере.

1. Какими особенностями характеризуются клетки грибов?
2. Какую функцию выполняют грибы в природе?
3. Охарактеризуйте функцию гриба в микоризе. Можно ли её назвать паразитической? Поясните свой ответ.
4. Какими особенностями обладает организм лишайника?

§ 19 Животный организм и его особенности

Вспомните

- особенности животного организма;
- какие организмы называют гетеротрофами.

Особенности животных организмов. Животные — разнообразная и многочисленная группа организмов, составляющая царство Животные. Среди них есть одноклеточные и многоклеточные формы. Они населяют водную, наземно-воздушную, почвенную и организменную среды. Все животные — гетеротрофы. Клетка животных — типичная эукариотическая клетка. Она окружена плазматической мембраной, внутри находятся ядро и цитоплазма с органоидами и включениями.

Для многих многоклеточных животных характерно наличие различных тканей: эпителиальной, мышечной, соединительной, нервной. Важная особенность большинства животных заключается в том, что их организм имеет внешние покровы, контактирующие с окружающей средой, и внутреннюю кишечную полость или трубку, контактирующую с поглощённой и перевариваемой пищей, чего нет у других эукариот.

Размножение животных осуществляется бесполым и половым способами. Половое размножение может проходить с внешним (например, у лягушек, многих костных рыб) или внутренним (у акул, скатов, рептилий, птиц, млекопитающих) оплодотворением.

Бесполое размножение наиболее распространено среди простейших (делением клетки надвое) и некоторых примитивных многоклеточных, например кишечнополостных (почкованием, например у гидры).

Движение. Важное отличие животных от растений и грибов — способность большинства видов к активному целенаправленному движению, характеризующему их *поведение*. Многие простейшие обладают разнообразными *таксисами* — направленным движением к источникам пищи, воздуху, освещённым участкам. Они могут также избегать участков среды с неблагоприятными условиями.

Большинство многоклеточных животных способно к очень точным движениям тела, конечностей, ротовых органов, хвоста, крыльев и др. Например, конечности блохи позволяют этому насекомому прыгать на расстояние, в десятки раз превышающее длину его тела. За счёт мощного хвоста акула движется с огромной скоростью и настигает добычу. Множество крылатых насекомых, а также птицы и летучие мыши отлично летают с помощью крыльев. Пользуясь клювом, птицы могут строить гнёзда. Слон использует свой хобот для совершения самых разных действий — ощупывания предметов и манипулирования ими, обливания водой, ухаживания, поддерживания новорождённого слонёнка.

Поведение многих животных достигает очень высокой сложности. Например, хищники, охотящиеся стаей, распределяют между собой роли на охоте — одни прячутся в засаде, другие гонят добычу в их сторону. При этом разные особи в стае постоянно координируют свои действия, ориентируясь на звуковые или зрительные сигналы, которые подают другие особи.

Распространение. Существуют различные способы расселения животных в новые места обитания. Различают *активный* и *пассивный* способы распространения животных. Первый способ присущ активно передвигающимся животным. Например, птицы и летучие мыши могут самостоятельно прилетать на изолированные в море острова и селиться на них. В истории известны примеры, свидетельствующие о том, как чёрные крысы расселялись по европейским городам, двигаясь огромными стаями от одного населённого пункта к другому.

В природе часто встречается и другой способ расселения — пассивный. Икра рыб и лягушек может переместиться из одного водоёма в другой, прилипая к лапам и перьям уток и других водоплавающих птиц. Яйца гельминтов и цисты простейших легко переносятся ветром. Мелкие планктонные организмы в реках и морях несёт на новое место течение воды. Паразитические организмы расселяются вместе со своими хозяевами.

В последнее время большую роль в расселении животных стал играть человек. Одних животных он завёз на новые земли случайно (например, мышей и крыс на отдалённые острова в морях и океанах), других — специально, например кроликов и тростниковую жабу — в Австралию, воробьёв — в Северную Америку, ондатру и енотовидную собаку — в Европу (рис. 33).

Питание. Всем животным необходима пища, однако получают они её различными способами. Существует множество растительноядных животных. Одни из них предпочитают траву (лошади, овцы, антилопа сайга), другие — кору и ветки деревьев (лоси, косули, заяц-беляк). Организм этих животных приспособлен к усвоению грубой пищи с большим содержанием клетчатки. Белка, бурундук, кедровка питаются преимущественно семенами растений (лесными орехами, семенами ели, кедровыми орехами).

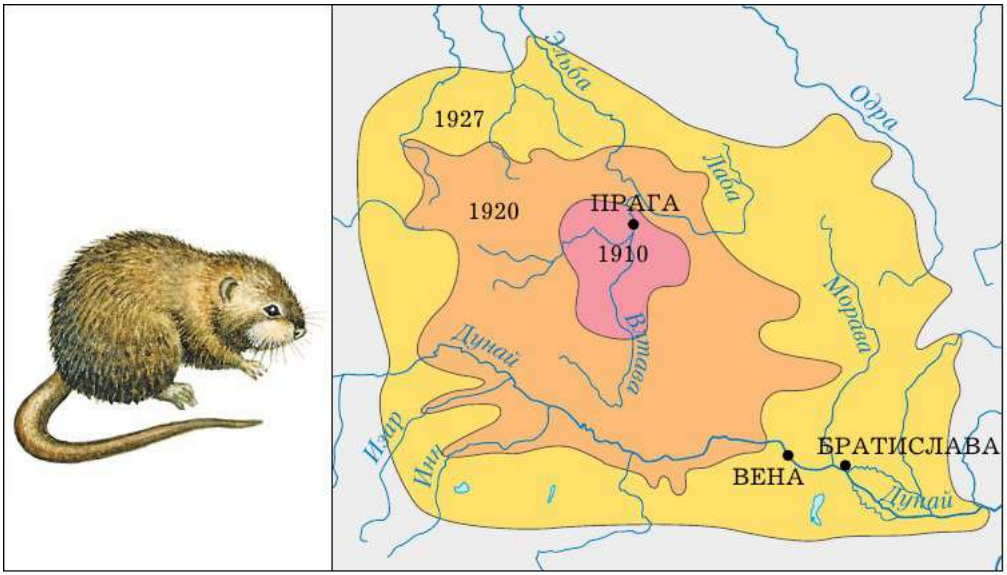


Рис. 33. Расселение и рост численности ондатры в Европе после того, как вблизи Праги были выпущены пять особей из Северной Америки

Слепыш и некоторые другие грызуны поедают сочные подземные части растений. Пчёлы питаются нектаром и пыльцой цветков (рис. 34), а термиты способны переваривать древесину.

Хищные животные также получают пищу разными способами: африканские львы могут нападать на крупных копытных, таких как буйволы и жирафы; гепарды с невероятной скоростью догоняют и ловят небольших антилоп; рысь прыгает на зайца или косулю из засады. Некоторые животные (ёж, землеройка) поедают преимущественно насекомых, слизней и других беспозвоночных. Выдры, дельфины, чайки предпочитают питаться рыбой.

Некоторых животных называют *всеядными* — в их рацион входит и растительная, и животная пища. Таковы, например, бурый медведь, домашняя собака, а также многие птицы и рыбы. Организм таких животных легче других приспосабливается к новым, незнакомым видам пищи.

Рис. 34. Пчела, поглощая нектар, опыляет соцветие

Переживание неблагоприятных условий. Во многих местах обитания животные испытывают трудности с добыванием пищи в определённые сезоны года, например зимой в заснеженном лесу или во время засухи в степи и пустыне. Такой период бескормицы разные животные переживают по-разному. Одни откочёвывают в дальние края с более благоприятными условиями (перелётные птицы, некоторые летучие мыши, копытные), другие впадают в спячку на несколько месяцев (бурый медведь, обыкновенный ёж, сибирский бурундук, обыкновенная гадюка). Многие делают запасы на зиму, например белка, слепыш, пищуха-сеноставка, кедровка, воробьиный сыч.

Забота о потомстве у животных чрезвычайно разнообразна. Птицы много дней высиживают яйца, а затем выкармливают птенцов, обогревают их, защищают от врагов. Млекопитающие выкармливают детёнышей молоком, а иногда обучают их некоторым навыкам поиска и добывания пищи. Это высшая степень заботы о потомстве. Однако у многих эта функция ограничивается выбором места для откладки яиц (например, у черепах) или икры (у бурых лягушек).

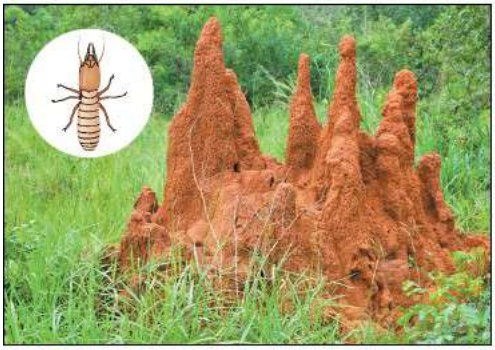


Рис. 35. Термитник и термит

Постройки животных. Многие животные сооружают разнообразные постройки, в которых живут постоянно или только выводят потомство. Примером такого сооружения может служить термитник (рис. 35).

Постоянные жилые постройки характерны также для муравьёв, пчёл, бобров. Многие животные роют норы, в которых проводят значительную часть времени, например различные грызуны (слепыш, хомяк), крот, вомбат (австралийское сумчатое), некоторые птицы (береговая ласточка, обыкновенный зимородок, серый буревестник). Организм роющего животного хорошо приспособлен к недостатку кислорода, постоянной темноте и тесноте норы. Из всех роющих животных самые крупные — австралийские вомбаты, достигающие 120 см в длину.

?

1. Назовите основные отличия животного организма от растительного.
2. В каких средах жизни могут обитать животные?
3. Приведите примеры животных, питающихся растительной пищей.
4. Каким образом животные организмы расселяются на новые места обитания?

§ 20

Разнообразие животных

Вспомните

- какие группы животных вы уже изучали;
- какие организмы входят в группу простейших.

Царство Животные традиционно подразделяют на два подцарства — Простейшие и Многоклеточные.

Простейшие. Это одноклеточные животные, клетка которых представляет собой целостный эукариотический организм. Они обитают в самых разных условиях на Земле — в пресной и солёной воде, в горячих источниках и на дне океанов, в почве, в организмах растений, грибов, животных.

Наиболее известные представители простейших — это *амёба протей* и *инфузория-туфелька* (рис. 36). Большой интерес представляют простейшие, паразитирующие в организме человека и животных и вызывающие различные заболевания, например *малярийный плазмодий* (рис. 37).

Важным свойством (и отличием от бактерий) многих простейших является их способность к *фагоцитозу*. Фагоцитоз — активный захват и поглощение клеткой микроскопически малых живых и неживых объектов с помощью специальных «впячиваний» её плазматической мембраны (рис. 38).

Фагоцитоз встречается не только у простейших, но и у некоторых клеток многоклеточных организмов (например, лейкоцитов крови).

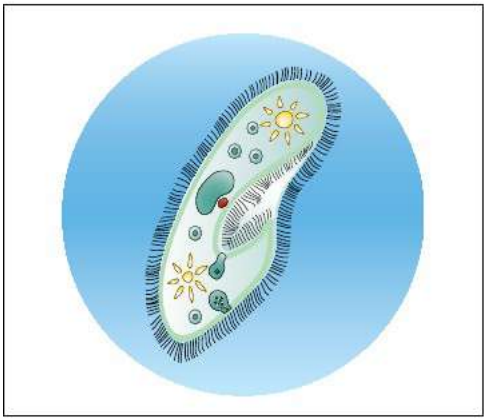


Рис. 36. Инфузория-туфелька

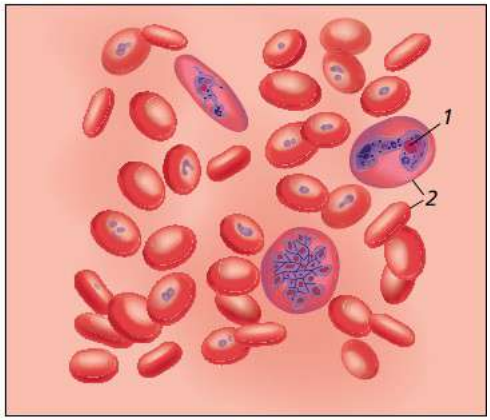


Рис. 37. Малярийный плазмодий *(1)* в эритроцитах человека *(2)*

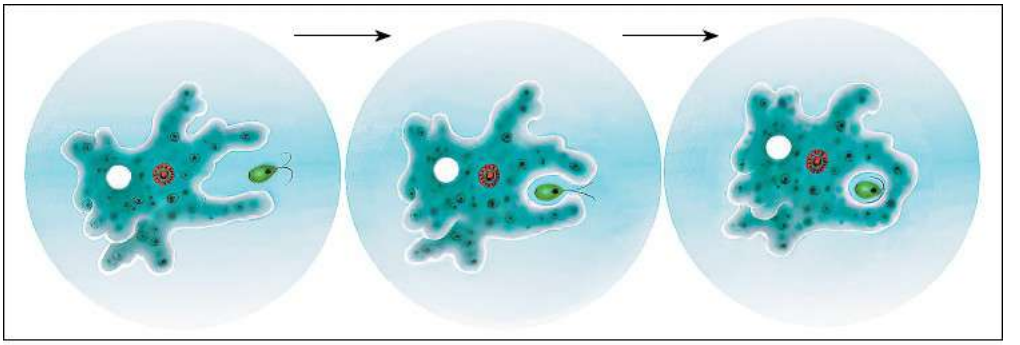


Рис. 38. Фагоцитоз у амёбы

Многие простейшие имеют на теле реснички или жгутики, обеспечивающие им активное передвижение во влажной среде. Иногда движение осуществляется с помощью ложноножек (выпячиваний плазматической мембраны), как у амёбы.

Многоклеточных животных традиционно объединяют в две большие группы — *беспозвоночные* и *позвоночные*. В группу беспозвоночных входят несколько типов животных, а позвоночные являются наиболее крупным подтипом *типа Хордовые*. Кроме позвоночных к хордовым относят ланцетника и некоторых других родственных животных, имеющих хорду.

К беспозвоночным относят следующие типы: Кишечнополостные (или Книдарии), Плоские черви, Круглые черви, Кольчатые черви, Моллюски, Членистоногие и ряд других.

Кишечнополостные, или *Книдарии* (стрекающие), — одни из самых древних многоклеточных животных. Их тело состоит всего из двух слоёв клеток — внутреннего (энтодерма) и наружного (эктодерма). Некоторые кишечнополостные, например *пресноводная гидра*, имеют небольшие размеры (1–20 мм в длину), другие достигают большей величины. Так, у арктической гигантской медузы, обитающей в Атлантическом океане, диаметр колокола достигает двух метров, а длина нитевидных щупалец — 20–30 м. Колонии тропических коралловых полипов, разрастаясь, образуют барьерные рифы и даже целые острова (рис. 39).

Плоские черви — относительно примитивные животные, однако по сравнению с кишечнополостными они имеют ряд прогрессивных черт. Их тело имеет трёхслойное строение (между эктодермой и энтодермой формируется мезодерма) и двустороннюю симметрию (вероятно, это связано с ползающим способом передвижения). Органы дыхания и кровеносные сосуды отсутствуют, газообмен осуществляется всей поверхностью тела.

Плоские черви представлены как свободноживущими, так и паразитическими видами. Обычными обитателями наших пресноводных водоёмов

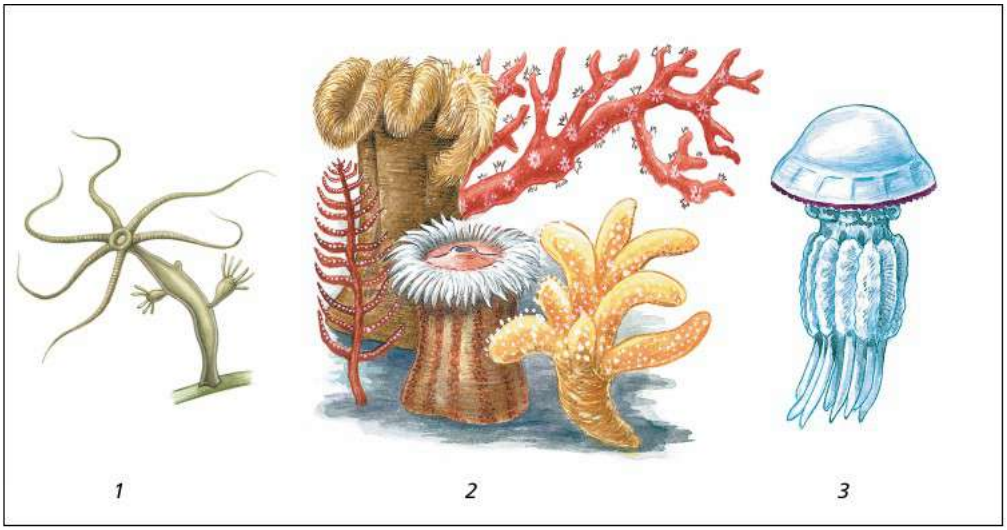


Рис. 39. Гидра *(1)*; коралловые полипы *(2)*; медуза *(3)*

являются хищные черви *планарии* — бурая, молочно-белая и др. (рис. 40). Самые крупные планарии в нашей стране живут в озере Байкал — они вырастают почти до 20 см в длину. В тропиках — в Африке — встречаются планарии длиной до 60 см. Характерной особенностью планарий является покров из ресничек и хорошо развитые органы чувств (глаза, органы химического восприятия и др.). Ротовое отверстие помещается на брюшной стороне, разветвлённый кишечник не имеет анального отверстия.

К паразитическим плоским червям относят *сосальщиков* и *ленточных червей*. Сосальщики внешне немного напоминают планарий, но не имеют ресничек и органов зрения. Они снабжены присосками, с помощью которых могут ползать и прикрепляться к телу хозяина. В центре одной из присосок находится ротовое отверстие — такую присоску называют ротовой. Большой вред человеку наносит *печёночный сосальщик* (или *печёночная двуустка*), заразиться которым можно при использовании сырой

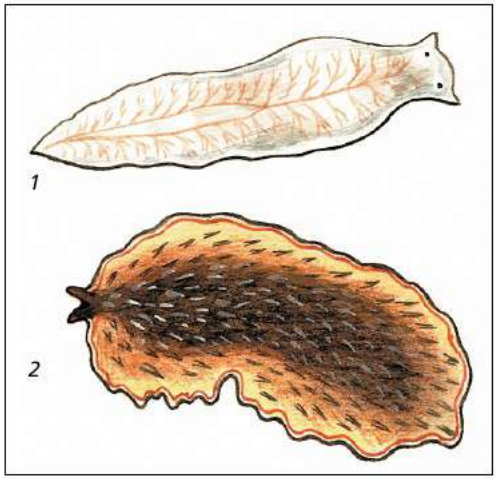


Рис. 40. Планарии: *1* — белая; *2* — морская

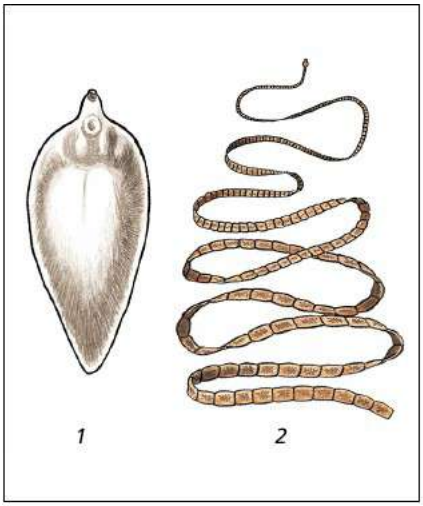


Рис. 41. Печёночный сосальщик *(1)*, свиной цепень *(2)*

воды для питья или случайно заглотнув воды при купании в пруду или реке (рис. 41, *1*)).

Ленточные черви (*бычий* и *свиной цепни*, *лентец широкий*) поселяются в кишечнике человека. Заразиться этими гельминтами можно, употребляя в пищу непроваренное или непрожаренное мясо коров и свиней, пресноводных рыб. Ленточные черви не имеют кишечника — они всасывают питательные вещества всей поверхностью тела (рис. 41, *2*).

Характерной особенностью многих паразитических плоских червей является сложный жизненный цикл, во время которого червь меняет одного-двух *промежуточных* хозяев, прежде чем поселится в *окончательном* хозяине и достигнет половой зрелости.

Круглые черви — многочисленная, разнообразная и широко распространённая группа животных. Большинство круглых червей относят к *нематодам*. Среди них есть свободноживущие (водные и почвенные) и паразитические виды. Паразитические нематоды поражают растения, грибы, животных и человека. Например, в кишечнике человека нередко обитают *острица детская* и *аскарида человеческая*. Заражение аскаридой чаще всего происходит при употреблении в пищу плохо вымытых овощей и фруктов.

Кольчатые черви, или *кольчецы*, — наиболее высокоорганизованные черви. У многих имеются примитивные конечности (*параподии*) — боковые выросты, снабжённые щетинками и иногда жабрами. Большинство кольчецов обитает в Мировом океане, однако многие виды встречаются в пресных водоёмах (например, *медицинская пиявка*) и в почве (*дождевые черви*).

Моллюски. Этот тип разделяют на три группы: *брюхоногие*, *двустворчатые* и *головоногие* моллюски. Для большинства моллюсков характерно наличие раковины, однако у некоторых она сильно редуцирована (например, у слизней) или отсутствует (у некоторых осьминогов).

К *брюхоногим* относят многих водных (например, прудовиков) и наземных моллюсков (например, виноградную улитку). Среди наземных улиток самого большого размера (до 20 см в длину) достигает африканская *ахатина*. В настоящее время её часто содержат в домашних условиях. Морские брюхоногие моллюски могут быть в несколько раз крупнее.

Двустворчатые моллюски беззубка, перловица — пресноводные, мидии, устрицы, морские гребешки — морские. Самый крупный морской двустворчатый моллюск — *тридакна* (до 2 м в длину).

Головоногие моллюски — осьминоги, кальмары, каракатицы (не имеют раковины), наутилус, аргонавт (с раковиной).

Членистоногие. Тип включает следующие классы: ракообразные, насекомые, паукообразные и др. *Ракообразные* ведут преимущественно водный образ жизни, хотя среди них есть и наземные — мокрицы, некоторые крабы. Многих ракообразных человек употребляет в пищу — омаров, креветок, речных раков и др.

Паукообразные — преимущественно хищники (пауки и скорпионы) или кровососущие (клещи).

Насекомые — самая многочисленная группа среди всех животных. Среди насекомых есть водные и наземные, почвенные и паразитические. Многие насекомые способны к полёту, обладают сложным поведением. Особый интерес представляют «общественные» насекомые — муравьи, пчёлы, осы, термиты. В их семьях разные особи выполняют определённую функцию — приносят пищу, охраняют жилище, ухаживают за личинками и т. д. «Главой семьи» является *матка* — самка, приносящая потомство.

Некоторые виды членистоногих являются переносчиками серьёзных заболеваний. Так, комары переносят малярию и жёлтую лихорадку, мухи цеце — сонную болезнь, клещи — клещевые энцефалиты и др.

Хордовые. Большинство хордовых — позвоночные животные. У всех имеется осевой скелет (позвоночник и череп), а у многих такие элементы скелета, как конечности, пояса конечностей, рёбра. Подтип Позвоночные включает следующие классы: *Хрящевые* и *Костные рыбы*, *Земноводные* (или *Амфибии*), *Пресмыкающиеся* (или *Рептилии*), *Птицы* и *Млекопитающие* (или *Звери*).

?

1. Каким способом амёба захватывает пищу?
2. Какие черви паразитируют в организме человека?
3. В какой группе животных насчитывают наибольшее число видов?
4. Назовите по два-три представителя различных классов, относящихся к подтипу Позвоночные.

§ 21

Сравнение свойств организма человека и животных

Вспомните

- особенности строения позвоночных животных;
- системы органов человека.

Сходство человека и животных. Современные люди принадлежат к виду Человек разумный (*Homo sapiens*), роду Человек, семейству Гоминиды, отряду Приматы, классу Млекопитающие, подтипу Позвоночные, типу Хордовые. Ближайшими сородичами человека являются человекообразные обезьяны (шимпанзе, горилла, орангутан). Общий предок человека и шимпанзе жил в Африке около 6 млн лет назад, а затем их эволюционные пути разошлись.

Вследствие того что человек относится к позвоночным млекопитающим, он обладает многими признаками, свойственными животным. Его внутренний костный скелет, включающий череп, позвоночник, рёбра, грудину, конечности и пояса конечностей, состоит из таких же костей, что и у других позвоночных (рис. 42).

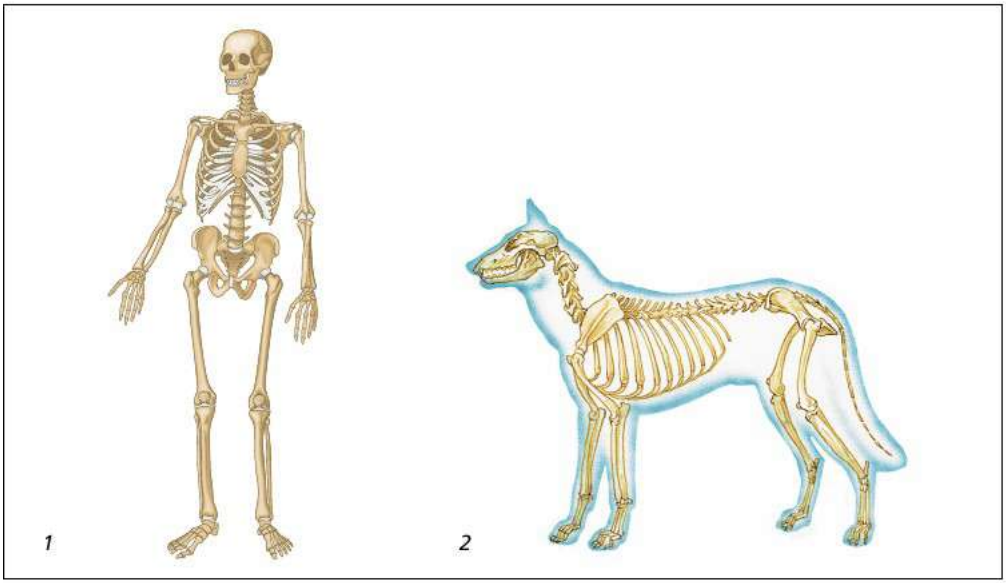


Рис. 42. Скелет человека *(1)* и собаки *(2)*

Строение кожи, зубов, волосяного покрова, кровеносной и дыхательной систем, органов размножения, органов чувств человека и других млекопитающих в общих чертах сходно.

Человеку свойственно бинокулярное трёхцветное зрение — как и многим обезьянам, в том числе человекообразным. Передние конечности обезьян имеют большую подвижность, помогают им прыгать с ветки на ветку, хватать и удерживать различные предметы. Руки человека способны совершать самые разнообразные движения, например вращательные — недоступные многим другим млекопитающим (лошади или собаке). У человека и человекообразных обезьян отсутствует хвост.

Отличия человека от животных. Кроме свойств, общих с животными, современный человек имеет ряд уникальных признаков, характеризующих вид Человек разумный. Например, особое строение черепа — размеры его мозгового отдела намного превышают размеры лицевого. У взрослых человекообразных обезьян — соотношение обратное (рис. 43).

У человека лучше развиты кисти рук, способные к различным движениям. Особенно важен большой палец, который вместе с другими пальцами обеспечивает захват и удержание самых мелких предметов и манипулирование ими (рис. 44). Кости нижних конечностей (бедренная, большая и малая берцовые) длиннее, чем соответствующие кости верхних конечно-

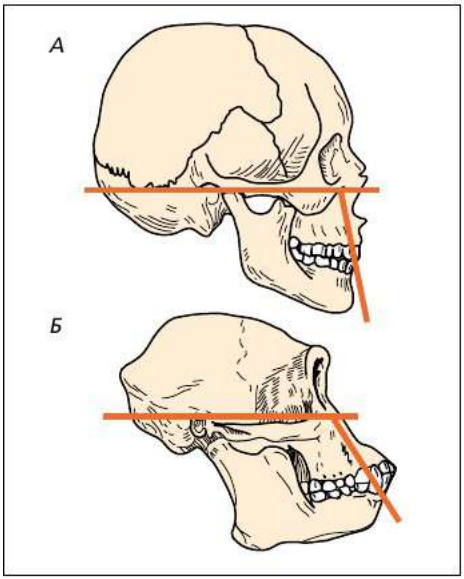


Рис. 43. Череп человека *(А)* и человекообразной обезьяны *(Б)*

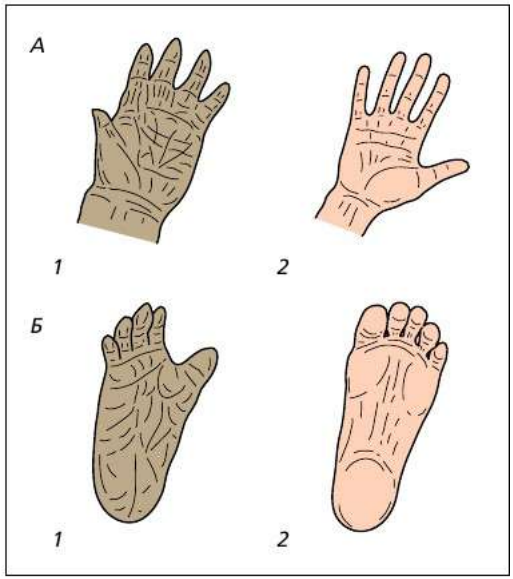


Рис. 44. Кисть человекообразной обезьяны *(А, 1)* и человека *(А, 2)*; стопа человекообразной обезьяны *(Б, 1)* и человека *(Б, 2)*

Рис. 45. Особенности скелета человека, обусловленные прямохождением

стей (плечевая, лучевая и локтевая), тогда как у человекообразных обезьян передние (верхние) конечности длиннее задних (нижних).

Человек приспособлен к прямохождению (амортизирующие изгибы позвоночника, широкий таз, свод стопы и др.), но у него утеряна хватательная функция стопы (рис. 44, 45).

Человек может переносить очень сильную жару (благодаря хорошо развитым потовым железам), однако нуждается в большом количестве воды для питья (около 2 л в день). Волосяной покров редуцирован на большей части тела.

Основной признак человека — большой мозг (примерно в три раза больше, чем у шимпанзе) с преимущественным развитием коры больших полушарий. Это обеспечило человеку наивысший интеллект среди всех обитателей Земли.

В поведении человека важны такие признаки, как способность к труду, изготовлению орудий. Большую роль в становлении рода Человек сыграл социальный фактор: стремление к жизни в группах (независимо от степени родства с членами группы), разделение функций между членами группы, умение мирно решать внутригрупповые конфликты, забота о стариках и др. Огромное значение для становления человека имело общение людей с помощью мимики и речи.

Современный человек способен к сложным формам абстрактного мышления, к проектной и творческой деятельности. Он умеет преобразовывать окружающую природную среду и создавать социальную среду.

Функции организма человека. Строение и функции систем органов человека имеют черты как общие с животными, так и уникальные, свойственные лишь ему.

Пищеварительная система. Предки людей были всеядными. Но на протяжении десятков и сотен тысяч лет человек питался преимущественно животной пищей, поэтому в процессе эволюции его пищеварительный тракт хорошо приспособился к перевариванию животных белков и жиров. Некоторые народности на Земле и в настоящее время питаются практически одной лишь животной пищей. В последние несколько тысячелетий в связи с развитием земледелия и окультуриванием расте-

ний человек стал в значительно большей степени использовать растительную пищу.

Современный человек может использовать любую пищу — и растительную, и животную, однако в некоторых популяциях у людей отсутствуют те или иные пищеварительные ферменты, поэтому продукты питания, обычные для других людей, для них непригодны. Так, одна из народностей в Юго-Восточной Азии совершенно не употребляет в пищу молочные продукты — они для них токсичны и вызывают тяжёлые кишечные расстройства.

Кроме функции пищеварения, органы, относящиеся к пищеварительной системе человека, выполняют и другие функции. Например, способность к членораздельной речи (язык, зубы, губы), вкусовое восприятие (рецепторы на языке, распознающие кислый, сладкий, солёный, горький и мясной вкус), синтез витаминов группы В и К (за счёт симбиотических бактерий в тонком кишечнике), защитную (лимфоидная ткань аппендикса), регуляторную функции и др.

Дыхательная система. Для человека важна жизненная ёмкость его лёгких — максимальный объём воздуха, который он может выдохнуть после очень глубокого вдоха. У молодых людей 15–16 лет жизненная ёмкость лёгких обычно составляет 2,6–3,5 л. У пловцов и некоторых других спортсменов жизненная ёмкость лёгких выше, чем у других людей. В спокойном состоянии человек вдыхает и выдыхает около 500 мл воздуха, но во время бега или плавания объём вдыхаемого и выдыхаемого воздуха увеличивается в три-четыре раза. Некоторые заболевания вызывают снижение жизненной ёмкости лёгких, что представляет опасность для здоровья и жизни человека, особенно при физической нагрузке.

Регуляцию дыхания обеспечивает дыхательный центр, расположенный в продолговатом мозге. На него могут воздействовать другие нервные центры, поэтому на интенсивность дыхания влияет не только повышенная концентрация углекислого газа в крови, но и эмоциональное возбуждение, и многие другие факторы. Человек может осуществлять произвольное дыхание, что необходимо для речи и пения.

Кровеносная система. Клетки крови обеспечивают не только перенос кислорода и углекислого газа в организме человека, но и такое важное свойство, как *иммунитет* (устойчивость к болезням). Иногда, вследствие тяжёлых заболеваний, ранений или отравлений, человеку необходимо переливание крови. Многие сдают свою кровь, чтобы спасти других людей. Известны четыре группы крови человека, и врачи строго следят, чтобы при переливании группа крови донора точно соответствовала группе крови пострадавшего. Донорская кровь в большой степени востребована в больницах и других лечебных учреждениях.

Выделительная система. Потребность организма человека в воде высока — около 2 л в день, а при тяжёлой физической работе и в жаркую пого-

ду — ещё выше. Дефицит воды может привести к различным заболеваниям почек, например образованию в них камней (мочекаменной болезни).

Органы чувств. Человек обладает хорошо развитыми органами зрения и слуха, что очень важно для нормальной жизни и общения. Обоняние человека гораздо слабее, чем у многих других млекопитающих, однако оно также способствует восприятию окружающего мира.

Ум человека (т. е. способность к познанию и осмыслению) далеко выходит за рамки возможностей любых, даже самых высокоразвитых животных. Человек использует присущие ему мышление и речь для создания своей собственной среды жизни. Он строит жилища, изготавливает одежду, выращивает растения и животных как для своего питания, так и для удовлетворения эмоциональных потребностей. Человек строит города, заводы, совершенствует транспорт, исследует природу, использует свои знания для лечения людей, обучения подрастающего поколения.

Таким образом, важнейшие особенности человека и его отличия от животных обусловлены социальными причинами и социальными свойствами самого человека. Поэтому человека называют *биосоциальным* существом.

?

1. Назовите основные признаки сходства человека и животных.
2. Какие свойства являются уникальными и присущи только человеческому организму?
3. Кого называют донором при переливании крови?
4. Назовите главные признаки, отличающие человека от животных.

§ 22 Размножение живых организмов

Вспомните

- способы размножения организмов;
- биологическую роль размножения.

Типы размножения. ***Размножение*** — это воспроизведение себе подобных, обеспечивающее существование вида. Это основное свойство всех организмов. В результате размножения увеличивается число особей определённого вида, осуществляется непрерывность и преемственность в передаче наследственной информации от родителей к потомству. Достигнув определённых размеров и уровня развития, организм воспроизводит своё потомство — новые организмы того же вида, расселяющиеся в окружающем пространстве.

Разнообразие организмов, исторически сложившееся на Земле, обусловило чрезвычайно большое разнообразие способов размножения. Однако все они являются лишь вариантами двух основных типов размножения — *бесполого* и *полового*.

Бесполое размножение — это самовоспроизведение организмов, в котором участвует лишь одна особь (родитель); оно происходит без участия половых клеток. В половом размножении участвуют две половые клетки — женская и мужская.

Половое размножение. Главной особенностью полового размножения является *оплодотворение*, т. е. слияние женской и мужской половых клеток — ***гамет*** (греч. *gametes* — «супруг»). При их слиянии образуется одна общая клетка — ***зигота*** (греч. *zygote* — «соединённая в пару»). Зигота даёт начало новому организму, в котором объединены наследственные свойства двух родителей. Каждая дочерняя особь, развивающаяся из зиготы, содержит в себе новые признаки — от двух разных организмов одного и того же вида.

Половые клетки (гаметы) у родительских организмов образуются в специальных органах. У животных и человека их называют половыми органами, у растений — генеративными органами (греч. *genero* — «произвожу», «рождаю»). Мужские гаметы — обычно мелкие клетки, содержащие ядерное (наследственное) вещество — ДНК. Одни называются *спермиями*, другие — со жгутиками — *сперматозоидами*.

Спермии развиваются у всех покрытосеменных и голосеменных растений, а сперматозоиды — у водорослей, мхов, папоротников, плаунов, хвощей и у большинства животных организмов, в том числе у человека.

Женские гаметы (яйцеклетки) — достаточно крупные клетки, иногда в тысячу раз крупнее сперматозоидов. В цитоплазме яйцеклеток помимо ядерного вещества содержится большой запас ценных органических веществ, необходимых после оплодотворения для развития зародыша.

При половом размножении возникает организм с уникальным, до этого ещё не встречавшимся в природе набором свойств, хотя и очень похожий на своих родителей. Такие организмы, обладающие новыми наследственными свойствами, полученными от обоих родителей, нередко оказываются более приспособленными к жизни в изменяющихся условиях окружающей среды.

При половом размножении происходит постоянное обновление наследственных свойств у дочерних поколений организмов. В этом состоит величайшая биологическая роль полового размножения в эволюции живого.

Такого обновления нет при бесполом размножении, когда дочерние организмы развиваются без оплодотворения. Они происходят только от одного родителя и несут только его наследственные свойства.

Бесполое размножение — древний способ воспроизведения себе подобных. Он свойствен организмам всех царств живой природы.

Характерно, что бесполое размножение осуществляется тогда, когда организм находится в благоприятных для него условиях. При ухудшении условий организм переходит к половому размножению. У многих высокоразвитых растений и животных половое размножение начинается лишь после того, как организм пройдёт ряд определённых стадий в своём развитии и достигнет возраста половой зрелости.

Примером бесполого размножения служит *вегетативное размножение* у растений. У некоторых животных также встречается вегетативное размножение. Его называют *размножением путём фрагментации*, т. е. частями (фрагментами) тела, из которых развивается новая особь. Размножение фрагментами характерно для губок, кишечнополостных (гидра), плоских червей (планария), иглокожих (морские звёзды) и некоторых других видов.

У животных, грибов и растений бесполое размножение может осуществляться путем *почкования*. На материнском организме образуются особые выросты — почки, из которых развиваются новые особи. Почкованием размножаются дрожжи, оно нередко встречается у пресноводной гидры.

Размножение с помощью спор широко представлено у грибов и растений.

При бесполом размножении отделившиеся дочерние особи полностью воспроизводят свойства материнского организма. Попав в другие условия среды, они могут проявить свои свойства иначе. Так новые организмы могут иметь разные размеры. Наследственные свойства остаются неизменными.

Способность повторять в дочерних организмах неизменные наследственные качества родителя, т. е. воспроизводить однородное потомство, — уникальное свойство бесполого размножения.

Бесполое размножение позволяет сохранить неизменными свойства видов. В этом заключается его важное биологическое значение. Организмы, появившиеся бесполым путём, обычно развиваются значительно быстрее, чем появившиеся путём полового размножения. Они быстрее увеличивают свою численность и значительно быстрее расселяются на большие территории.

Смена поколений. У большинства одноклеточных и многоклеточных организмов бесполое размножение может чередоваться с половым.

Например, у некоторых морских кишечнополостных половое поколение представлено одиночными свободноплавающими медузами, а бесполое — сидячими полипами. У растений, например у папоротников, одно поколение (*гаметофит*), развившееся из споры, представлено мелким листовидным заростком, а другое поколение (*спорофит*) — крупным листостебельным растением, на котором развиваются споры (см. рис. 29, § 17).

Бесполое и половое размножение — два основных способа продолжения жизни, сформировавшиеся в процессе эволюции живой природы.

1. Объясните эволюционное преимущество полового размножения перед бесполым.
2. В чём состоит биологическая роль бесполого размножения?
3. Какой способ размножения используют при выращивании картофеля и лука?
4. В чём состоит основное различие между семенем и спорой?

§ 23

Индивидуальное развитие

Вспомните

- различия между процессами роста и развития;
- продолжительность жизни различных организмов.

Развитие организмов. Организм за период своей жизни претерпевает существенные изменения — он растёт и развивается. Совокупность преобразований, происходящих в многоклеточном организме от его зарождения до естественной смерти, называют ***индивидуальным развитием организма*** или ***онтогенезом*** (греч. *ontos* — «сущее» и *genesis* — «возникновение», «происхождение»). Онтогенез организма начинается при половом размножении с образования зиготы.

Зигота — это первая клетка дочернего организма.

В онтогенезе многоклеточных животных различают два периода: эмбриональный и постэмбриональный. *Эмбриональный период* — это развитие зародыша (эмбриона) до его рождения. *Постэмбриональным* называют период развития организма от его рождения или выхода из яйцевых и зародышевых оболочек до смерти.

Эмбриональное развитие, происходящее внутриутробно в теле матери и оканчивающееся рождением, наблюдается у большинства млекопитающих, в том числе у человека. У яйцекладущих и вымётывающих икру организмов эмбриональное развитие обычно происходит вне тела матери, но оно длится до тех пор, пока рождающийся организм не выйдет из яйцевых оболочек.

У преобладающего большинства животных организмов процесс эмбрионального развития происходит сходным образом. Это подтверждает общность их происхождения.

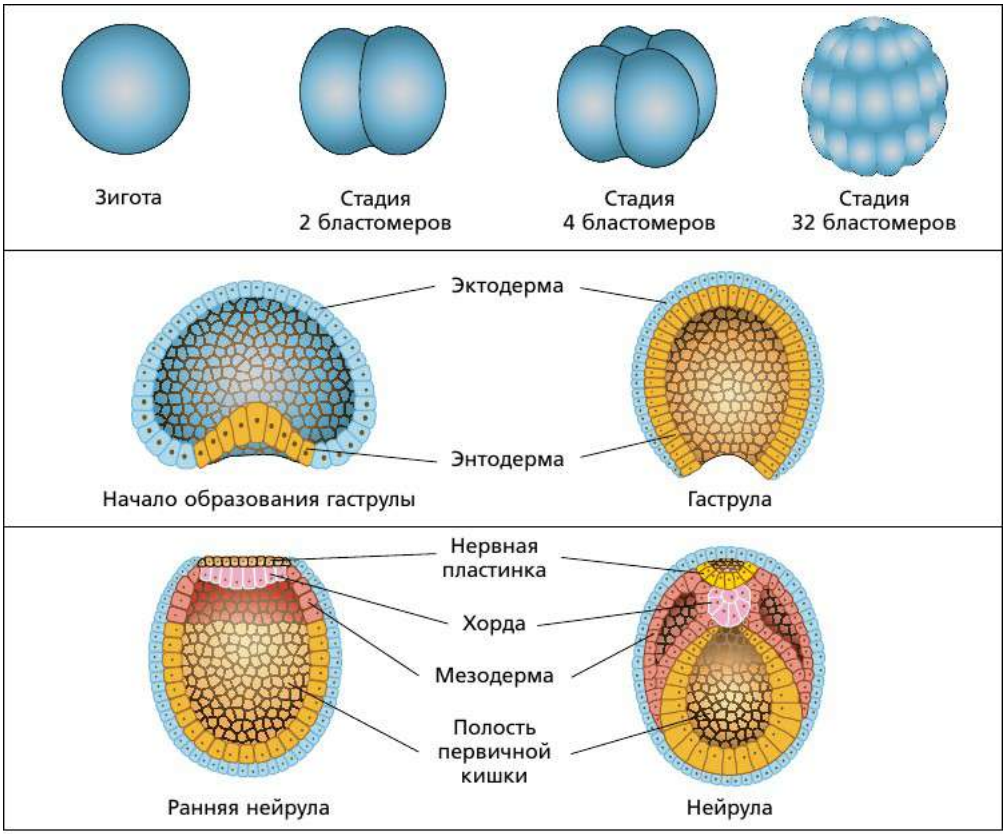


Рис. 46. Схема стадий развития зародыша ланцетника

Эмбриональный период онтогенеза хорошо изучен на примере ланцетника. Установлено, что в эмбриональном развитии организма различают несколько стадий: зиготы, дробления, гаструлы, дифференциации и органогенеза (рис. 46).

Почти сразу же после оплодотворения зигота делится вначале на 2 клетки, затем на 4, 8, 16, 32 клетки и т. д. Этот период деления зиготы называют стадией ***дробления***. Стадия дробления продолжается до тех пор, пока из клеток не образуется шар. Шарообразную структуру называют ***бластулой*** (греч. *blastos* — «зачаток», «росток»). На стадии бластулы эмбрион обычно представляет собой однослойный шар с полостью.

По величине бластула почти не превышает размеров зиготы, так как состоит из очень мелких клеток, содержимое которых представлено в основном ядерным веществом. Это происходит потому, что клетки в процессе дробления не потребляют извне каких-либо питательных веществ и, следовательно, не растут.

Когда образуется примерно 100 клеток, на бластуле происходит впячивание внутрь шара и образуется структура, напоминающая мяч, сложенный вдвое. Эту стадию называют ***гаструлой*** (греч. *gaster* — «желудок»).

Она состоит из двух пластов клеток — *зародышевых листков*: наружного — ***эктодермы*** (греч. *ektos* — «вне», «снаружи» и *derma* — «кожа») и внутреннего — ***энтодермы*** (греч. *entos* — «внутри» и *derma* — «кожа»). У большинства многоклеточных животных в процессе гаструляции образуется третий зародышевый листок — ***мезодерма*** (греч. *mesos* — «средний», «промежуточный» и *derma* — «кожа»). Она расположена между эктодермой и энтодермой.

Клетки зародыша в процессе гаструляции становятся различными по структуре и биохимическому составу, т. е. дифференцируются.

В результате дальнейшей дифференциации клеток в конце третьей недели существования эмбриона в нём начинают формироваться основные ткани и органы. Например, из эктодермы образуются нервная система и покровные ткани, из энтодермы — многие внутренние органы, из мезодермы — мышцы, почки, скелет, кровь, кровеносные сосуды и половая система. Эту стадию эмбрионального развития называют *органогенезом* (греч. *organon* — «орган» и *genesis* — «начало», «происхождение»). Например, у хордовых первоначально идёт формирование зачатка нервной системы. Поэтому эта стадия получила название ***нейрула*** (греч. *neuron* — «нерв»). В конце четвёртой недели эмбрион имеет почти все структуры тела. После трёх месяцев развития, например, у зародыша человека (хотя его длина едва достигает 90 мм) уже формируются все системы органов.

Характер процессов развития зародыша во многом определяется наследственной информацией, полученной от родителей и особым образом сформированной в зиготе. В хромосомах каждой клетки зародыша, появившейся посредством митоза при делении зиготы, есть гены, ответственные за признаки всего организма. Но в различных клетках (возникших из разных зародышевых листков) считывание информации с генов при образовании информационной РНК идёт только на активных участках хромосом, тогда как остальные гены не функционируют. Кроме того, на развитие зародыша оказывают влияние состав цитоплазмы, межклеточное взаимодействие и иные факторы. В итоге начинают синтезироваться тканеспецифические белки, в зародыше появляются различные клетки и ткани. Участвуют в этом процессе также вещества, содержащиеся в зародышевых листках (гормоны, ферменты). Воздействуют на развитие зародыша и внешние факторы. Зародыш развивается как единый организм, в котором все клетки, ткани и органы находятся в тесном взаимодействии.

С первых дней эмбрионального развития зародыш очень чувствителен к повреждающим факторам — действию лекарств, ядов, алкоголя, наркотиков и инфекционным заболеваниям матери. Например, если женщина в промежутке между 4-й и 12-й неделями беременности переболеет крас-

нухой, у неё может произойти выкидыш или у зародыша нарушится формирование органов, развитие которых происходит в этот период (сердца, головного мозга, органов зрения и слуха). А пристрастие к курению приводит к умственным и физическим уродствам ребёнка.

Постэмбриональное развитие. Постэмбриональный (послезародышевый) период начинается с момента выхода организма из яйцевых оболочек, а при внутриутробном развитии зародыша млекопитающих — с момента рождения. В этот период организм растёт и в нём происходят качественные и количественные изменения.

Различают два вида постэмбрионального развития: *прямое* и *непрямое*. При прямом типе развития появляющийся детёныш очень похож на своих родителей, и затем он растёт и развивается до взрослого состояния. Прямое развитие наблюдается у рептилий, птиц и млекопитающих, в том числе у человека. Непрямое развитие происходит с превращением (метаморфозом). У животных с таким развитием из яйца вначале выходит *личинка*, которая может сильно отличаться от родителей формой, типом питания, образом жизни. Развитие с превращением может быть полным, тогда за стадией личинки следует стадия *куколки*, в процессе которой насекомое превращается во взрослое животное. Полное развитие с превращением характерно для бабочек, жуков, муравьёв, пчёл, мух (рис. 47).

В развитии с неполным превращением отсутствует стадия куколки, а взрослое животное развивается непосредственно из растущей личинки, которая по форме мало отличается от взрослого животного. Такой тип развития свойствен саранче, кузнечикам, тараканам, клопам (рис. 48).

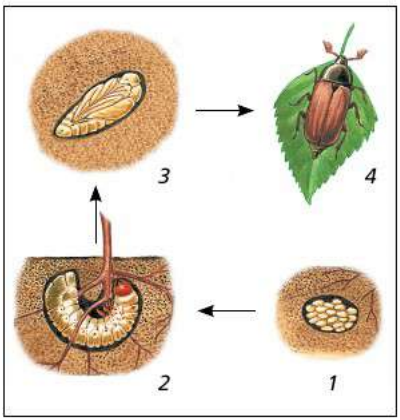


Рис. 47. Развитие насекомого (майского жука) с полным превращением: *1* — яйцо; *2* — личинка; *3* — куколка; *4* — взрослое насекомое

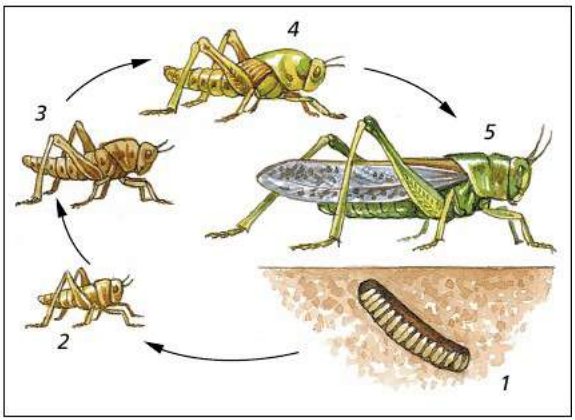


Рис. 48. Развитие насекомого (саранчи) с неполным превращением: *1* — кубышка с яйцами; *2*, *3*, *4* — разные стадии развития личинок; *5* — взрослое насекомое

Онтогенез — это развитие индивидуума (особи), обусловленное наследственностью и влиянием условий среды обитания.

Достигнув половой зрелости, организм реализует главнейшую функцию живого, свойственную организменному уровню жизни, — даёт потомство, чем обеспечивает непрерывность существования своего вида в природе.

Онтогенез — безусловно, одно из самых удивительных биологических явлений. Появившись в виде крошечного зародыша или зачатка, организм проходит ряд сложных стадий развития, в процессе которых у него постепенно формируются все органы и механизмы, обеспечивающие жизнедеятельность.

Существование любого организма представляет собой сложный и непрерывный процесс эмбрионального и постэмбрионального развития в определённых условиях обитания на протяжении сроков, свойственных каждому виду.

1. Охарактеризуйте период эмбрионального развития организма.
2. Замените терминами следующие словосочетания:
- организм на ранних этапах развития;
- индивидуальное развитие многоклеточного организма.

3. Поясните, почему внешние воздействия (радиация, курение) более опасны для эмбриона, чем для взрослого организма.
4. Правильно ли утверждение о том, что формирование организма происходит в эмбриональном периоде, а в постэмбриональном периоде осуществляется лишь увеличение его размеров, т. е. рост?

§ 24 Образование половых клеток. Мейоз

Вспомните

- значение полового размножения организмов в природе;
- роль половых клеток в половом размножении.

Мейоз — особый тип деления клетки. В ядре соматических (телесных) клеток эукариот содержится два набора идентичных хромосом — по одному от обоих родителей. Такие клетки называют ***диплоидными*** (греч. *diploos* — «двойной» и *eidos* — «вид»).

В половом размножении принимают участие две родительские особи. Важную роль в этом процессе выполняют гаметы — мужские

и женские половые клетки. Посредством заключённой в них наследственной информации они осуществляют передачу свойств определённого вида организмов от родителей потомству. Таким способом осуществляется преемственность поколений и непрерывность существования видов.

Число хромосом у каждого вида при половом размножении остаётся постоянным. Это связано с тем, что половые клетки образуются путём особого деления. Благодаря ему в ядро каждой гаметы попадает не два, а только один набор хромосом. Уменьшение числа хромосом в ядре называют *редукцией* (от лат. *reducere* — «приводить обратно», «возвращать»). Клетки с одинарным набором хромосом называют ***гаплоидными*** (греч. *haploos* — «простой», «одиночный» и *eidos* — «вид»). Гаплоидный набор принято обозначать как n, а диплоидный — $2n$.

Процесс деления клетки, в результате которого в ядре дочерних клеток оказывается вдвое меньшее количество хромосом, называют ***мейозом*** (греч. *meiosis* — «уменьшение»). В результате оплодотворения (слияния мужской и женской гамет) формируется зигота — первая клетка будущего организма. Встреча родительских гамет при оплодотворении носит случайный характер. В зиготе объединяется наследственная информация, полученная от родительских особей, и восстанавливается диплоидный набор хромосом.

Например, у человека в каждой половой клетке (и в сперматозоиде, и в яйцеклетке) в норме содержится 23 хромосомы. При образовании зиготы ядра половых клеток сливаются и их хромосомы объединяются попарно. Таким образом, в зиготе оказывается 46 хромосом. Хромосомы, образующие друг с другом пары, называют *гомологичными* (греч. *homoios* — «подобный», «одинаковый»).

Мейоз, или редукционное деление, — это сочетание двух своеобразных этапов деления клетки, без перерыва следующих друг за другом. Их называют *мейозом I* (первое деление) и *мейозом II* (второе деление). Каждый этап имеет несколько фаз. Названия фаз такие же, как у фаз митоза. Перед делениями наблюдаются интерфазы. Но удвоение ДНК в мейозе происходит только перед первым делением. Ход мейоза схематично показан на рисунке 49.

В *интерфазе*, предшествующей первому делению мейоза, наблюдается увеличение размеров клетки, удвоение органоидов и удвоение ДНК в хромосомах.

Первое деление мейоза. Мейоз I начинается *профазой I*, во время которой удвоенные хромосомы (состоящие из двух хроматид) хорошо видны под световым микроскопом. В этой фазе *гомологичные* хромосомы сближаются и соединяются между собой. Такие соединённые между собой гомологичные удвоенные хромосомы называют *бивалентом* (лат. *bi* — «двойной» и *valens* — «сильный»).

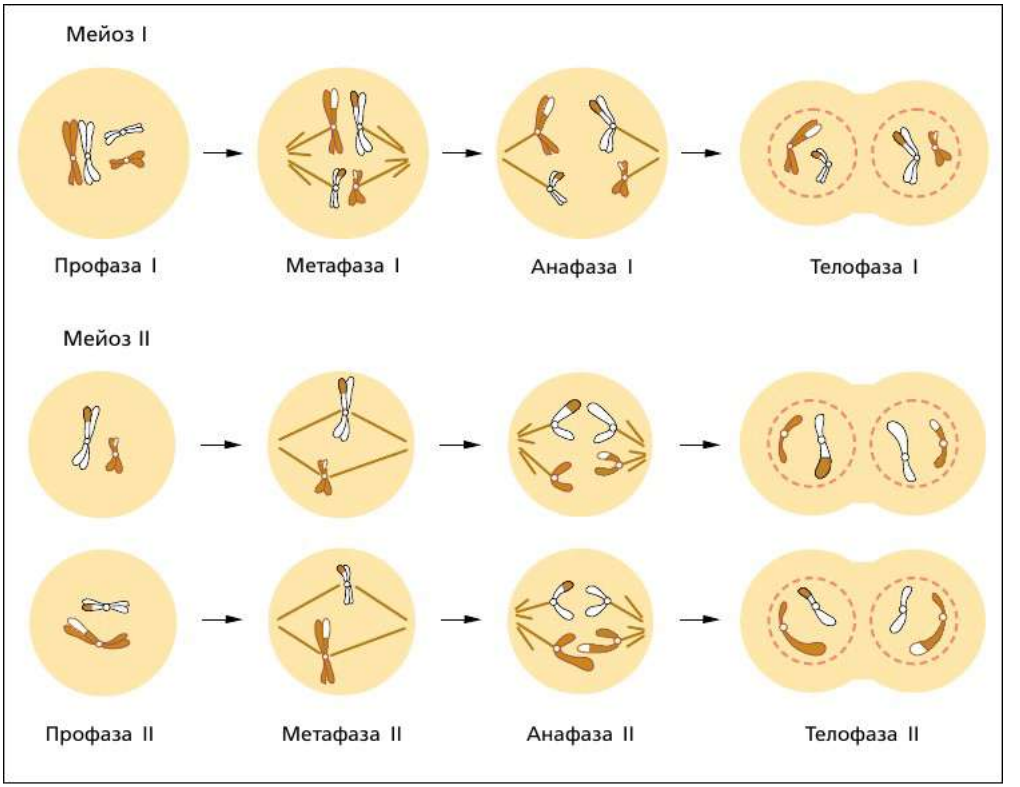


Рис. 49. Схема мейоза

Гомологичные хромосомы, составляющие бивалент, тесно соединяются между собой в некоторых точках. При этом может происходить обмен участками нитей ДНК, в результате которого образуются новые комбинации генов в хромосомах. Этот процесс называют ***кроссинговером*** (англ. *crossingover* — «перекрёст»). Кроссинговер может приводить к перекомбинации малых или больших участков гомологичных хромосом с несколькими генами (рис. 50).

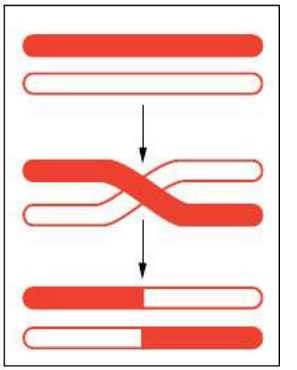


Рис. 50. Схема кроссинговера

Благодаря перекрёсту в половых клетках (гаметах) оказываются хромосомы с иными наследственными свойствами по сравнению с хромосомами родительских клеток.

Явление перекрёста имеет фундаментальное биологическое значение, так как увеличивает ге-

нетическое разнообразие соматических клеток. Сложностью процессов, происходящих в профазе I (в хромосомах, ядре), обусловливается наибольшая продолжительность этого этапа мейоза.

В *метафазе I* биваленты располагаются в экваториальной части клетки.

Затем, в *анафазе I*, происходит расхождение гомологичных хромосом к противоположным полюсам клетки. *Телофазой I* завершается первое деление мейоза, в результате которого образуются две дочерние клетки. Каждая хромосома в них ещё остаётся удвоенной (т. е. состоит из двух сестринских хроматид).

Вслед за телофазой I наступает вторая *интерфаза*. Она занимает очень короткое время, так как синтез ДНК в ней не происходит.

Второе деление мейоза. Мейоз II начинается *профазой II*. Возникшие в телофазе I две дочерние клетки начинают деление, подобное митозу: ядрышки и ядерные мембраны разрушаются, появляются нити веретена, одним своим концом прикрепляющиеся к центромерам.

В *метафазе II* хромосомы выстраиваются по экватору веретена.

В *анафазе II* центромеры делятся и хроматиды расходятся к полюсам клетки.

В *телофазе II* вокруг ядра, которое теперь содержит одинарный (гаплоидный) набор хромосом, образуется ядерная мембрана и происходит разделение цитоплазмы. Редукционный процесс образования половых клеток завершается созданием четырёх гаплоидных клеток — гамет.

В результате мейоза из одной диплоидной ($2n$) клетки появляются четыре клетки с гаплоидным набором хромосом ($1n$).

Процесс образования мужских половых клеток (сперматозоидов) называют *сперматогенезом* (греч. *spermatos* — «семя» и *genesis* — «возникновение», «происхождение»), женских половых клеток (яйцеклеток) — *оогенезом* (греч. *oon* — «яйцо» и *genesis* — «возникновение», «происхождение»).

Мейоз встречается в жизненных циклах очень многих организмов и имеет большое значение в живом мире. В процессе мейоза (в отличие от митоза) образуются дочерние клетки, которые содержат в два раза меньше хромосом, чем родительские. Однако благодаря взаимодействию хромосом, происходящих от отца и матери, потомство приобретает качественно новые, неповторимые признаки, обусловленные перекомбинациями генов в хромосомах. Появляющееся множество новых комбинаций генов увеличивает возможность вида вырабатывать приспособления к изменяющимся условиям окружающей среды, что играет важную роль в эволюции.

1. Почему свойства дочерних организмов, развившихся из зиготы, не идентичны родительским?

2. В чём заключается биологический смысл мейоза?

3. Завершите утверждение, выбрав правильный термин.

Одинаковые хромосомы от отцовского и материнского организмов, образующие друг с другом пары, называются

а) гаплоидными
б) гомологичными
в) диплоидными
г) одинарными

4. На рисунке 49 внимательно рассмотрите, как располагаются и как расходятся хромосомы в фазах мейоза. Прокомментируйте изменение свойств гомологичных хромосом, произошедшее в результате их перекрёста.

§ 25

Изучение механизма наследственности

Вспомните

- функции хромосом;
- значение мейоза в наследовании признаков родительских организмов.

Первые представления о наследственности. Ещё в древности люди понимали, что растения, животные и человек наследуют какие-то определённые признаки от родителей, поскольку нельзя было не видеть сходства потомства и родителей. Причём «родовые» признаки передавались неизменными из поколения в поколение. Опираясь на способность растений и животных к наследованию определённых качеств, люди для посева стали отбирать семена растений от наиболее урожайных особей, старались сохранять молодняк животных, обладающих нужными им свойствами — дающих больше молока или шерсти, лучше выполняющих тягловые работы и т. д.

Так, старинные китайские рукописи свидетельствуют о том, что уже 6 тыс. лет назад различные сорта риса создавались путём скрещивания и отбора. Археологические находки подтверждают, что египтяне культивировали урожайные сорта пшеницы. Среди вавилонских памятников письменности в Двуречье найдена каменная табличка, относящаяся к 6-му тыс. до н. э., на которой записаны данные о наследовании формы головы и гривы в пяти поколениях лошадей (рис. 51).

Этапы изучения наследственности у организмов. За многие годы изучения свойств растений и животных человечество накопило множество фактов, свидетельствующих о наследовании признаков. Однако только в конце XIX — начале XX в., когда были сформулированы конкретные положения

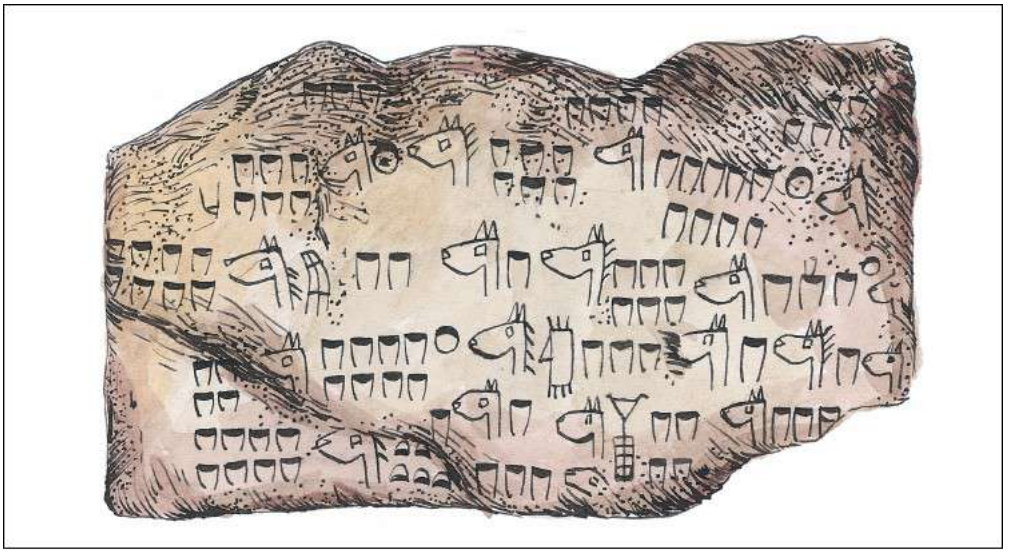


Рис. 51. Родословная пяти поколений лошадей, записанная 6 тыс. лет назад: показаны три типа гривы (торчит кверху, свисает вниз, без гривы) и три типа профиля головы (прямой, выпуклый и вогнутый)

о свойствах живой клетки (М. Шлейден и Т. Шванн, 1839), была открыта и описана яйцеклетка млекопитающих (К.М. Бэр, 1828), обнаружены и изучены нуклеиновые кислоты в ядре (Ф. Мишер, 1868), описаны митотическое деление (И.Д. Чистяков, 1874, и В. Флеминг, 1882) и мейоз (В. Флеминг, 1882, и Э. Страсбургер, 1888), появились сведения о существовании определённых закономерностей в передаче наследуемых признаков, учёные непосредственно приступили к изучению явления «наследственность».

Грегор Иоганн Мендель (1822–1884)

Первый научный труд по изучению наследственности принадлежит Г. Менделю.

В 1865 г. в статье «Опыты над растительными гибридами» он сформулировал закономерности наследования признаков. На примере растений Мендель показал, что наследственные черты (задатки) организмов не являются «слитными», как это считалось ранее, а передаются от родителей к потомкам в виде отдельных, обособленных единиц, которые он назвал «факторами». Эти единицы у особей представлены парами (по одному от каждого родителя) и передаются потомкам с помощью мужских и женских половых клеток по одной единице из каждой пары. Учёный сформулировал несколько *законов наследования признаков* у организмов

и успешно доказал их многочисленными экспериментами, используя приёмы скрещивания. Кроме того, своими исследованиями Г. Мендель ввёл в науку *гибридологический метод* изучения наследственности и изменчивости организмов, который используется и в настоящее время.

Гибридологический метод изучения наследственности основан на применении скрещивания организмов, различающихся между собой по ряду признаков, и прослеживании проявления изучаемых признаков в ряду поколений.

«Факторы» передачи наследственности, на существование которых указал Мендель, датский учёный В. Иогансен в 1909 г. назвал ***генами*** (греч. *genos* — «род»). Так было положено начало учению о гене и обозначилась наука — ***генетика***, изучающая наследственность организмов. В начале XX в. американский эмбриолог и генетик Т. Морган экспериментальным путём установил, что гены находятся в хромосомах и располагаются там линейно один за другим. С тех пор понятие о гене занимает центральное место в науке о закономерностях передачи наследственных признаков организмов.

В первой половине XX в. видную роль в исследованиях механизма наследственности сыграли российские учёные. А.С. Серебровский, исследуя наследование признаков у животных, показал сложную структуру гена, ввёл в науку термин «генофонд». Учение о наследственности и изменчивости обогатили труды Н.И. Вавилова, сформулировавшего в 1920 г. *закон гомологических рядов наследственной изменчивости.* Ю.А. Филипченко провёл многочисленные эксперименты по анализу наследственных свойств у растений, разработал методы изучения изменчивости и наследственности. Значительный вклад в развитие учения о наследственности внесли труды Г.Д. Карпеченко, Н.К. Кольцова, С.С. Четверикова и других исследователей.

Развитию знаний о механизме наследования признаков организмов в значительной степени способствовали достижения ряда других наук — науки о клетке (цитологии), молекулярной биологии, органической химии, учения об эволюции, а также создание сложного технического оснащения, необходимого для экспериментов с микроскопическими объектами (ядром, хромосомами, клеточными органоидами, полимерными молекулами).

В итоге к середине XX в. была доказана роль молекул нуклеиновых кислот в передаче наследственной информации, а опубликованная в 1953 г. расшифровка структуры молекулы ДНК показала тесную связь этого полимерного соединения с наследственной информацией.

Современные достижения в изучении наследственности. К концу XX в. были установлены основные закономерности хранения и передачи наследственной информации клетки и всего организма от родителей потомству. Было доказано, что передача наследуемых признаков всегда про-

исходит посредством ДНК, в которой хранится информация о строении всех клеточных белков, и что именно белки в процессе биосинтеза реализуют наследственную программу проявления признаков у организмов. Благодаря своей регуляторной деятельности белки определяют процессы, которые будут протекать в клетке (с какого участка ДНК будет списана информация, какие белки будут синтезироваться), а также признаки, которыми будет обладать организм на том или ином этапе своей жизнедеятельности.

Было также установлено, что в процессах удвоения ДНК, списывания информации с ДНК на РНК, при сборке полимерных молекул белков и даже на некоторых фазах митоза могут произойти ошибки — *мутации*. Возникшие вследствие этого нарушения в биологических макромолекулах могут вызвать изменения наследственных признаков у дочерних организмов, которые, в свою очередь, могут передаваться от них последующим поколениям. Так был раскрыт механизм *наследственной изменчивости*. Мутации редко приводят к появлению полезных для организма признаков.

В конце XX в. существенно возрос интерес к наследственным признакам, свойственным человеку, и причинам изменчивости. К настоящему времени изучено более 2500 нормальных и патологических признаков человека, известно около 2000 болезней, вызванных наследственными факторами, и не только найдены пути распознавания этих заболеваний, но и определены методы их профилактики, а для некоторых — и лечения. В соответствии с международной программой по изучению генетических свойств человека в 2003 г. был расшифрован *геном* человека. Геном — это совокупность генетической информации, содержащейся в молекулах ДНК гаплоидного набора хромосом любого вида. Геном представляет собой характеристику вида, но не особи.

Учёные всего мира придают большое значение этому открытию. Они считают, что расшифровка генома человека поможет лучше понять причины многих наследственных заболеваний и создать новые лекарства для их лечения, а также способствовать продлению жизни человека.

Этим же целям служат и произведённые учёными расшифровки геномов многих культурных растений, например кукурузы, томата, пшеницы, тыквы, сои и др.

1. Объясните причины возникновения науки генетики.
2. Охарактеризуйте вклад Г. Менделя в изучение наследственности.
3. Какие условия способствовали активному развитию генетики в XX в.?
4. С какой целью был расшифрован геном человека?

§ 26

Основные закономерности наследования признаков у организмов

Вспомните

- что является носителем наследственной информации;
- где и как размещается ген.

Понятие о наследственности. Способность организмов передавать свои признаки и особенности развития потомству называют ***наследственностью***.

Ч. Дарвин так определял наследственность: «Наследственность — это свойство организмов передавать свои признаки и особенности развития следующим поколениям». Благодаря наследственности все особи вида сходны между собой. Наследственность позволяет растениям, животным, грибам, бактериям и вирусам сохранять из поколения в поколение характерные черты вида, популяции, сорта, породы.

Наследование признаков обусловлено процессом размножения. При половом размножении материальные основы наследственности заключены в половых клетках и новое поколение возникает в результате их слияния — оплодотворения. При бесполом размножении новое поколение развивается или из одноклеточных спор, или из вегетативных органов материнского организма.

В процессе полового размножения связь между поколениями осуществляется через клетки, в ядрах которых заключены материальные основы наследственности. Благодаря этой способности все живые существа (растения, животные, грибы, бактерии) сохраняют в своих потомках характерные черты вида. Такая преемственность наследственных свойств обеспечивается передачей их генетической информации. Носителями наследственной информации живых организмов являются хромосомы и гены.

Каждому виду свойственно определённое количество хромосом. Их число постоянно и служит одним из важных признаков при определении вида (табл. 2).

Таблица 2

Количество хромосом в клетках организмов разных видов

Организм	Количество хромосом	Организм	Количество хромосом
Человек	46	Рожь	14
Шимпанзе	48	Кукуруза	20

Организм	Количество хромосом	Организм	Количество хромосом
Курица	78	Томат	24
Карась	100	Лук	16
Краб	254	Овёс	42

Совокупность признаков хромосомного набора в клетках организма того или иного вида называют *кариотипом* (рис. 52).

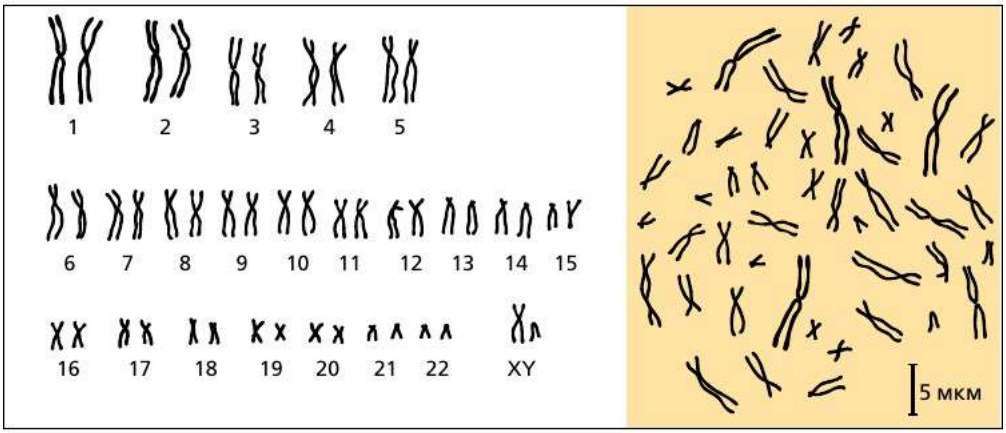


Рис. 52. Кариотип мужчины. Цифрами обозначены номера хромосом по принятой классификации, а буквами *X* и *Y* обозначены половые хромосомы. Идентификация хромосом и обозначение их номерами были предложены международной конференцией в 1960 г. Нумерация начинается с самых крупных хромосом и оканчивается самыми мелкими

Основное вещество хромосомы составляет *хроматин* — одна непрерывная двухцепочечная молекула ДНК, связанная с белками в нуклеопротеиновые нити. При функционировании хромосомы претерпевают структурные преобразования, обусловленные изменением плотности упаковки (спирализации) молекулы ДНК. В процессе деления клетки (митоза) на стадии метафазы плотно упакованные хромосомы хорошо различимы под микроскопом: каждая хромосома состоит из двух хроматид (нитевидных копий), образующихся в ходе репликации ДНК и скреплённых центромерой. Центромера делит хромосомы на два равных или неравных по длине плеча (см. рис. 23, § 13).

Хромосомы содержат гены, определяющие наследственные свойства организма.

Ген и его свойства. Ген представляет собой участок молекулы ДНК (а у некоторых вирусов — РНК), представленный определённым количеством нуклеотидов. В последовательности азотистых оснований нуклеотидов заложена генетическая информация о развитии признаков организма. У эукариотических организмов гены располагаются в ядерной ДНК (это так называемые *ядерные гены*) и в ДНК, содержащейся в органоидах цитоплазмы — митохондриях и хлоропластах (*цитоплазматические гены*). У бактерий гены заключены в единственной кольцевой молекуле ДНК (*бактериальные гены*).

Гены содержат в себе информацию о белках, контролирующих определённые признаки организма. Важнейшая, уникальная функция белков в клетке — ферментативная — управление химическими реакциями, в результате которых проявляются (реализуются) все признаки организма. Поэтому роль гена в передаче наследственной информации можно представить следующим образом:

Ген ⟶ фермент (белок) ⟶ химическая реакция ⟶ признак организма

Из этого можно сделать следующий вывод:

Ген — элементарная единица наследственной информации, ответственная за формирование какого-либо признака организма.

У всех организмов одного и того же вида каждый ген располагается в определённом месте относительно других генов. Местоположение гена на участке ДНК называют *локусом* (лат. *locus* — «место»). У разных особей одного вида каждый ген имеет несколько форм — *аллелей*, содержащих информацию о том или ином варианте развития признака, который контролируется этим геном (например, цвет глаз). В клетках диплоидного организма обычно содержатся по две аллели каждого гена, полученные одна — от матери, другая — от отца. Любое изменение структуры гена приводит к появлению новых аллелей этого гена и изменению контролируемого им признака.

Совокупность всех генов у отдельной особи называют ***генотипом***. Он выступает как единство всех наследственных задатков, которые контролируют проявление признаков организма: его развитие, строение, жизнедеятельность. А совокупность всех проявившихся признаков организма называют ***фенотипом***. Он формируется в процессе взаимодействия генотипа с внешней средой. При этом в фенотипе реализуются не все генотипические возможности организма.

Проявление изменчивости. Каждый организм обитает и развивается в определённых условиях окружающей среды, испытывая на себе действие внешних факторов. Эти факторы (температура, свет, присутствие

других организмов и др.) могут повлиять на фенотип организма, т. е. могут измениться его размеры, физиологические свойства, иные признаки. Поэтому проявление признаков даже у близкородственных организмов может быть различным. Эти различия между особями в пределах вида называют ***изменчивостью***.

Изменчивость — это свойство живых организмов существовать в различных формах, обеспечивающих им способность к выживанию в изменяющихся условиях среды.

Изменчивость может быть вызвана воздействием факторов окружающей среды, не затрагивающим генотип. Изменчивость, связанная с изменениями генотипа, сопровождается появлением новых признаков и качеств, наследуемых организмом. Это особенно часто наблюдается у особей, появившихся в результате скрещивания.

Изменчивость — свойство организмов, противоположное наследственности. Но наследственность и изменчивость неразрывно связаны между собой. Они обеспечивают преемственность наследственных свойств и возможность организмов приспособиться к изменяющимся условиям среды, обусловливая поступательное развитие жизни.

Наследственность и изменчивость присущи всем организмам. Изучая закономерности наследственности и изменчивости, можно выявить условия управления этими процессами.

1. Что такое аллель? Какие гены называют аллельными?
2. Сопоставьте роль наследственности и изменчивости в жизни организмов.
3. Что послужило причиной исследования изменчивости организмов?
4. Прокомментируйте утверждение: «Изменчивость — свойство организмов, противоположное наследственности». Справедливо ли оно?

Лабораторная работа № 3

Тема: Выявление наследственных и ненаследственных признаков у растений разных видов

Цель работы: изучение наследственных признаков на примере растений.

Оборудование: 1) ручная лупа, линейка; 2) семена гороха, фасоли, тыквы (или яблони, дуба, клёна).

Ход работы

Задание. Выявление наследственных признаков у растений.

1. Распределите семена по видам.

2. Изучите внешний вид семян каждого вида. Определите общие признаки семян: форму, окраску кожуры и размеры.

3. Найдите общие видовые признаки у семян гороха. Отметьте их основные различия (то же у фасоли, тыквы). Сделайте вывод о наличии наследственных и ненаследственных признаков у семян гороха, фасоли, тыквы.

4. Сделайте записи в таблице по образцу:

Виды семян	Наследственные признаки	Ненаследственные признаки
Горох посевной		
Фасоль обыкновенная		
Тыква обыкновенная		
Вывод:		

§ 27

Закономерности изменчивости

Вспомните

- как возникает изменчивость;
- от чего зависит проявление признаков у организма.

Понятие об изменчивости. В природе трудно найти двух абсолютно одинаковых особей даже в потомстве одной и той же родительской пары. Изменчивость — общее свойство всех организмов. Она проявляется целым рядом признаков. Например, два растения одного вида, растущие рядом, будут различаться между собой количеством побегов и плодов, размерами листьев и другими свойствами. Однако в результате простого наблюдения не всегда можно определить, является ли данный тип изменчивости результатом нарушения генотипа (наследственно обусловленным). Установить это можно только путём эксперимента (например, скрещиванием).

Любой признак — это видимый результат реализации наследственности (генотипа) в данных условиях. Поэтому проявление признаков зависит, с одной стороны, от генетических особенностей организма (генов, хромосом и генотипа в целом), а с другой — от условий его жизни.

Изменчивость отражает взаимосвязь организма с окружающей средой.

Различают два типа изменчивости: *наследственную* и *ненаследственную*.

Наследственная изменчивость. Окружающая среда непрерывно воздействует на организм, изменяя, ослабляя или усиливая проявление его наследственных признаков. В то же время в процессе размножения организмы всегда производят потомство, подобное себе, поддерживая непрерывность жизни по принципу «клетка — от клетки», т. е. «подобное рождает подобное». Потомство пары кошек — всегда кошки, так же как потомством одноклеточной водоросли хлореллы всегда будет хлорелла. Благодаря наследованию свойств родителей потомство имеет сходство с ними, но не является их точной копией.

Так, котята одного помёта различаются по окраске шерсти, форме и цвету пятен на ней, длине или густоте волосяного покрова, цвету глаз и др. Это объясняется тем, что потомство наследует от родителей не признаки (свойства), а гены, контролирующие эти признаки. Но, как вы помните, в первом делении мейоза гомологичные хромосомы расходятся независимо, а в результате перекрёста гены (и хромосомы) могут претерпеть ряд изменений. При оплодотворении встреча родительских гамет в зиготе носит случайный характер. Всё это приводит к тому, что в генотипе потомков происходят некие изменения и, как следствие, у них проявляются новые признаки, отличающие их от родителей. Признаки, обусловленные изменениями в генотипе, могут передаваться уже их собственным потомкам, они становятся наследуемыми.

Изменчивость, которая проявляется в связи с изменением генетического материала, называется ***наследственной*** или ***генотипической***.

Одним из результатов наследственной изменчивости является образование новых организмов (новых генотипов), обеспечивающее разнообразие жизни, её продолжение и эволюционное развитие.

Генотипическая изменчивость широко представлена в природе. Иногда это очень заметные изменения, проявляющиеся, например, в появлении махровости у цветков, коротконогости у животных (овец, кур), но чаще это мелкие, едва заметные отклонения от нормы.

Изменение генотипа, как правило, приводит к изменению фенотипа.

Типы наследственной изменчивости. В генотипической изменчивости различают комбинативную и мутационную изменчивость. *Комбина-*

тивная изменчивость характеризует возникновение новых комбинаций генов при независимом расхождении хромосом и кроссинговере в ходе мейоза. Она может возникать при оплодотворении и образовании зиготы. Комбинативная изменчивость обеспечивает перераспределение наследственного материала родителей среди их потомства. Комбинативная наследственная изменчивость является универсальным свойством всех организмов — от бактерий до высших растений и животных. Наблюдается она и у вирусов. Этот тип наследственной изменчивости имеет важное значение при эволюционных преобразованиях.

Мутационная изменчивость является результатом мутаций. *Мутации* (лат. *mutatio* — «изменение», «перемена») — это внезапные изменения в наследственном материале. Они могут приводить к появлению новых признаков организма, которые перейдут к потомству. Мутации могут быть естественно и искусственно вызванными. *Естественными* называют мутации, возникающие независимо от воздействия человека на природу. Такие мутации могут возникать, например, при нарушении обмена веществ (пластического или энергетического обмена) и могут затрагивать разнообразные стороны строения и функций организма. Например, у дрозофилы описаны мутационные изменения формы крыльев, окраски тела, глаз, а также многих физиологических признаков (продолжительность жизни, плодовитость, устойчивость к повреждающим факторам и др.).

Искусственные мутации вызываются человеком с помощью *мутагенов* — факторов, вызывающих наследственные изменения (физических, химических, биологических) (табл. 3).

Таблица 3

Виды мутационной изменчивости

Мутационная изменчивость		
Генная изменчивость	**Хромосомная изменчивость**	**Геномная изменчивость**
Изменения в последовательности азотистых оснований нуклеотидов в гене	Изменения в структуре отдельных хромосом: половых и неполовых (аутосом)	Изменение количества хромосом: увеличение, уменьшение, удвоение кратно гаплоидному набору

Большинство мутаций нейтральны, однако бывают мутации, вредные для организма. Некоторые (летальные) мутации даже вызывают его гибель. В природе очень редко возникают полезные для организма мутации,

улучшающие какие-то свойства особи. Но именно они, будучи закреплёнными в потомстве, дают некоторые преимущества перед другими особями в процессе естественного отбора.

Генотипическая изменчивость присуща всем живым организмам. Она является основным источником генетического разнообразия особей внутри вида, чем обусловливает эволюцию видов в природе и отбор лучших форм в селекции.

К наследственной изменчивости, помимо генотипической, относят ещё и *цитоплазматическую*. Она обусловлена изменениями в кольцевых молекулах ДНК, содержащихся в клеточных органоидах — митохондриях и хлоропластах. Обычно этот тип изменчивости наследуется по материнской линии, поскольку в яйцеклетке содержится большой запас цитоплазмы.

1. Назовите причины наследственной изменчивости.
2. Какова роль генотипической изменчивости в живой природе?
3. В каждой строчке этого задания три термина определённым образом взаимосвязаны. Дайте их общую характеристику и определите четвёртый термин, не имеющий к ним отношения:
а) ген, изменчивость, генотип, наследственность;
б) фенотип, признак, ген, мутация;
в) комбинативная изменчивость, мутаген, мутация, генотипическая изменчивость.

§ 28

Ненаследственная изменчивость

Вспомните

- о причинах изменчивости в наследовании признаков;
- типы наследственной изменчивости.

По механизму возникновения и характеру изменений признаков помимо наследственной (генотипической) выделяют также ***ненаследственную изменчивость***.

Ненаследственная изменчивость проявляется у особей как изменение признаков, не затрагивающее генотип организма.

Ненаследственная изменчивость проявляется в *модификациях* — изменениях признаков организма (его фенотипа) под воздействием факторов внешней среды. Поэтому её называют также *модификационной* (лат.

modus — «мера», «вид» и *facio* — «делаю») или *фенотипической*. Она не связана с изменением генотипа, но определяется им.

Внешние воздействия в ряде случаев вызывают у организма изменения, которые могут быть вредными, нейтральными или полезными для него. Это так называемые *адаптации* (лат. *adaptatio* — «прилаживание», «приспосабливание»). Однако модификации имеют относительный характер, действуют лишь в конкретных условиях и не проявляются у потомков, так как не закреплены в генотипе и не наследуются.

Модификации проявляются в течение всей жизни организма, позволяя ему существовать в конкретных условиях среды, но они не наследуются.

Причины ненаследственной изменчивости. Организмы одного вида всегда чем-то отличаются друг от друга. В лесу, на опушке, на лесной поляне или в поле растущие рядом растения одного вида различаются между собой (размером, скоростью роста, формой кроны, соцветий и др.), потому что они развиваются в неодинаковых условиях среды: получают различное количество света, воды, минеральных веществ, соприкасаются с разным составом соседствующих видов. Такая же картина характерна для особей грибов, животных и всех других организмов.

Даже листья одного и того же растения имеют разные анатомо-физиологические и морфологические свойства. Например, у сирени на солнечной стороне куста листья имеют световую структуру, а в глубине кроны и на теневой стороне — теневую структуру (рис. 53). У валлиснерии, стрелолиста, водяного лютика и многих других водных растений листья, находящиеся под водой и над водой, имеют разный внешний вид и внутреннюю структуру тканей и клеток (рис. 54).

Примеров модификационной изменчивости очень много. Они показывают, что даже организмы с одинаковым генотипом, но выросшие в разных условиях всегда различаются между собой по проявлению признаков, т. е. фенотипически. Такие признаки, возникшие вследствие воздействия условий среды как приспособление (адаптация) к ним, не передаются по наследству, так как они не закреплены в генотипе. Примерами ненаследственной изменчивости могут служить увеличение удоя молока при обильном кормлении коров, усиление ветвления побегов при обрезке верхушечных почек, улучшение здоровья при употреблении витаминов. Многие подобные примеры количественного характера проявляются сходным образом у всех особей каждого вида.

Обычно наблюдается обратимый характер модификации признаков. Например, кожа человека под действием ультрафиолетовых (УФ) лучей приобретает защитное свойство — загар (т. е. усиленную пигментацию). Степень загара у разных людей различна, но с прекращением действия УФ-лучей загар постепенно исчезает. У некоторых рыб встречается смена

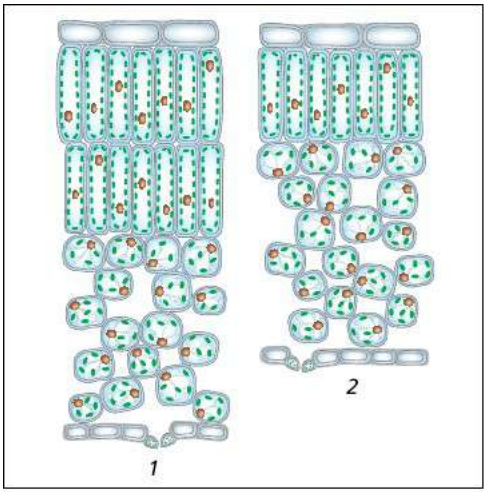


Рис. 53. Поперечный срез листа сирени: *1* — светового; *2* — теневого. Листья характеризуются разной толщиной столбчатой ткани в мякоти листа

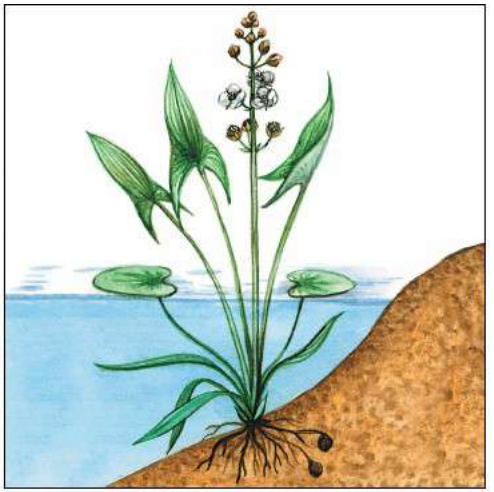


Рис. 54. Пример модификационной изменчивости: стрелолист образует разные по форме листья в воде, на поверхности воды и над водой

пола на противоположный и обратно, причём иногда этот процесс занимает всего несколько минут (например, у окуней *серанусов*). В большинстве случаев модификации нестойки и исчезают, как только прекратится действие вызвавших их факторов, но они дают особям возможность выжить в конкретных изменившихся условиях.

Модификации — это ненаследуемые приспособительные реакции организма (и клеток) на изменения условий среды.

Проявлением модификационной изменчивости является фенотип как результат взаимодействия генотипа и внешних условий. Поэтому данный тип изменчивости называют также *фенотипическим*.

Значение модификационной изменчивости хорошо определил отечественный учёный, исследовавший вопросы эволюции, — И.И. Шмальгаузен: «Адаптивная (приспособительная) модификация является первой пробой реакции, при помощи которой организм как бы проверяет возможность замены и более успешного использования окружающей среды».

Роль модификационной изменчивости в природе велика, так как она обеспечивает организмам возможность в течение их онтогенеза адаптироваться (приспособиться) к изменяющимся условиям внешней среды.

Онтогенетическая изменчивость. Иногда в ненаследственной изменчивости выделяют ещё *онтогенетическую*, или *возрастную*, изменчивость, возникающую в процессе индивидуального развития (онтогенеза) организма. В этом случае изменения признаков могут произойти по причи-

нам, вызывающим наследственную и ненаследственную изменчивость. Поэтому онтогенетическую изменчивость считают промежуточным вариантом изменчивости (рис. 55).

<table>
<tr><td colspan="4">ИЗМЕНЧИВОСТЬ</td></tr>
<tr><td colspan="3">НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ ГЕНОТИПИЧЕСКАЯ</td><td>НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ</td></tr>
<tr><td>КОМБИНАТИВНАЯ</td><td>МУТАЦИОННАЯ</td><td>ОНТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ</td><td>МОДИФИКАЦИОННАЯ</td></tr>
</table>

Рис. 55. Типы изменчивости

Все типы изменчивости имеют большое значение в жизни организмов. Изменчивость, т. е. способность организмов существовать в разных вариациях, в виде особей с разными свойствами, — один из важнейших факторов жизни, обеспечивающий приспособленность организмов (популяций и видов) к изменяющимся условиям существования и обусловливающий эволюцию видов.

1. Можно ли, улучшив условия кормления, превратить короткошёрстных кошек в длинношёрстных?
2. Охарактеризуйте значение ненаследственной изменчивости в жизни организмов.
3. По какой причине модификационную изменчивость называют также фенотипической изменчивостью?
4. К какому типу изменчивости следует отнести усиление свойств у потомков гибридов первого поколения?

Лабораторная работа № 4

Тема: Изучение изменчивости у организмов

Цель работы: доказать, что изменчивость — общее свойство организмов.

Оборудование: 1) 15–20 опавших листьев *клёна платанолистного* (или тополя, осины, дуба, яблони и др.); 2) 5–7 раковин *прудовика большого* (или двустворчатого моллюска); линейка; лист миллиметровой бумаги или тетради в клетку.

Ход работы

Задание 1. Обнаружение изменчивости у растений и животных.

1. Сравните пять опавших листьев клёна (или листьев других растений). Найдите у них черты сходства и различия окраски, формы и размеров (длина и ширина листовой пластинки, количество зубчиков по краю листа). Сделайте соответствующие измерения листовой пластинки. Расположите листья в порядке количественного изменения признаков (по возрастанию).

2. Определите неизменяющиеся признаки клёна (наследственные) и признаки, свидетельствующие о проявлении изменчивости.

3. Сравните раковины прудовика (или другого моллюска). Найдите черты сходства и различия формы, размеров и окраски раковин. Расположите раковины в порядке количественного изменения признаков (по возрастанию).

4. Определите видовые признаки прудовика и признаки, свидетельствующие об изменчивости у данного вида моллюсков.

5. Наблюдения и выводы запишите в таблицу по образцу:

Изучаемый объект	Неизменяющиеся признаки	Изменяющиеся признаки
Листья клёна		
Раковины прудовика		
Вывод:		

6. Сделайте общий вывод.

Задание 2. Выявление статистических закономерностей модификационной изменчивости.

1. Возьмите 15–20 листьев клёна и расположите их в один ряд в порядке возрастания длины листовой пластинки. В итоге вы получите вариационный ряд данного наследуемого признака. Пронумеруйте все листья.

2. Определите частоту встречаемости листьев с короткой, длинной и средней листовой пластинкой. Для этого измерьте (в миллиметрах) длину листовой пластинки у всех листьев. Постройте график на миллиметровой или клетчатой бумаге. На оси ординат отметьте все номера листьев. На оси абсцисс нанесите точки, соответствующие длине листовых пластинок. Соединяя точки, указанные на оси абсцисс и оси ординат, получите диаграмму, которая отражает изменчивость исследуемого признака.

3. Выполните такую же работу по итогам измерения ширины листовой пластинки.

4. Сформулируйте выявленную вами закономерность модификационной изменчивости.

5. Сделайте общий вывод.

§ 29

Основы селекции организмов

Вспомните

- роль искусственного отбора в создании новых форм;
- методы селекции организмов.

Из истории селекции. Человек начал культивировать растения и одомашнивать животных ещё на заре своего развития. Культурные растения и прирученные животные позволяли обеспечить потребности людей в питании и одежде. Первые попытки одомашнивания животных и выращивания некоторых растений делались более 22 тыс. лет назад. На территории Средней Азии, Закавказья, юга России уже в каменном веке знали пшеницу. 10-е тыс. до н. э. считается началом истории культивирования многих растений и одомашнивания животных. Находки археологов в Ираке (Горный Курдистан) показывают, что в 7-м тыс. до н. э. здесь возделывали пшеницу — дикую однозернянку.

Домашние животные и культурные растения произошли от диких предков. Человек ещё в древности приручал животных, собирал семена полезных растений и высевал их около жилища, обрабатывал землю, а для новых посевов отбирал лучшие семена и коренья. Длительный отбор растительных и животных организмов обусловил появление культурных форм с особыми свойствами, нужными человеку. Однако основная роль в эволюции культурных растений и домашних животных принадлежит мутациям, отбору и селекции — целенаправленному выведению новых сортов растений и пород животных с заданными свойствами.

Селекция как наука. В настоящее время в связи с ростом населения Земли требуется увеличение производства сельскохозяйственных продуктов. Решающая роль в выполнении этой задачи принадлежит селекции растений, животных и микроорганизмов.

Селекция (лат. *selectio* — «выбор», «отбор») — это наука, изучающая биологические основы и методы создания и улучшения пород животных, сортов растений и штаммов микроорганизмов. Селекцией называют также отрасль сельскохозяйственного производства, занимающуюся (с опорой на закономерности наследования признаков организмов) практическим выведением новых сортов и гибридов культурных растений, пород животных и штаммов микроорганизмов.

Порода, *сорт*, *штамм* — это искусственно полученные популяции животных, растений, грибов и бактерий с нужными для человека признаками.

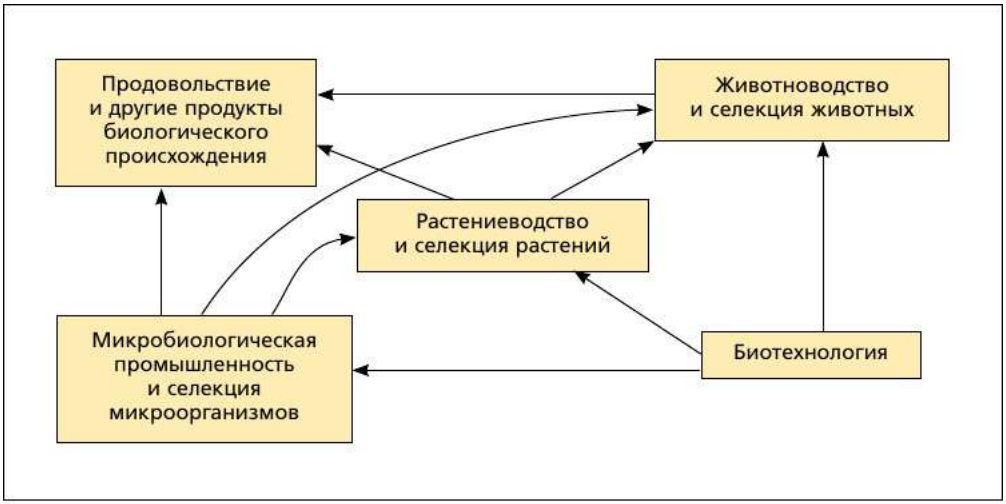


Рис. 56. Связь селекции с различными областями производства продуктов питания и других биологических материалов

В настоящее время селекция обогатилась достижениями генной и клеточной инженерии, биотехнологии и внедрением методов клеточной культуры. Роль селекции в обеспечении человека продуктами сельского хозяйства и микробиологического производства показана на рисунке 56.

Общие методы селекции. Главными методами селекции являются искусственный отбор, гибридизация, мутагенез и полиплоидизация.

Искусственный отбор — это выбор человеком наиболее ценных для него особей животных и растений данного вида, породы или сорта для получения от них потомства с желательными свойствами.

Искусственный отбор организмов проводится человеком по отдельным интересующим его признакам.

Благодаря искусственному отбору появились новые формы организмов, существенно отличающиеся от их предков — дикорастущих растений и диких животных. Это хорошо видно на примере початков кукурузы при сопоставлении предковых и современных сортов растений с необходимыми человеку признаками (рис. 57).

Гибридизация — это процесс создания гибридов из двух отличающихся по генотипу родительских организмов, размножающихся половым путём. В результате в ходе скрещивания наследственный материал двух организмов объединяется в одном.

Первое поколение гибридов (F_1) обычно обладает высокой жизнеспособностью, большей плодовитостью и более крупными размерами по сравнению с родительскими формами.

Явление превосходства первого поколения гибридов по ряду признаков и свойств над обеими родительскими формами называют *гибридной силой* или *гетерозисом* (греч. *heteroiosis* — «изменение», «превращение»). Гетерозис часто приводит к значительному повышению продуктивности в животноводстве и урожайности в растениеводстве, поэтому широко используется в практике сельского хозяйства. В дальнейших поколениях при скрещивании гибридов F_1 между собой эффект гибридной силы ослабевает и исчезает. Гибриды, полученные путём отдалённой гибридизации, часто неплодовиты.

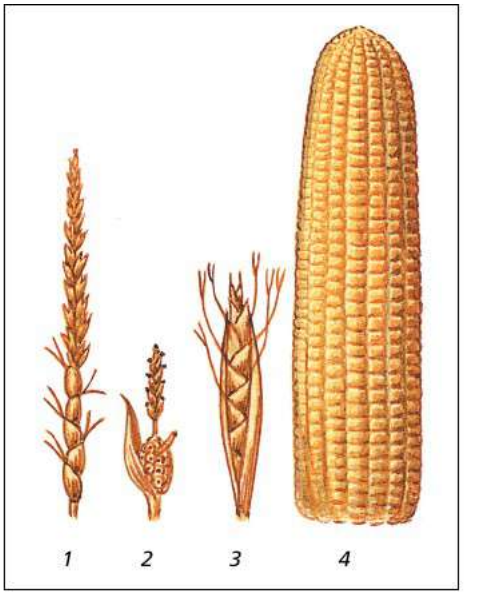


Рис. 57. Початки кукурузы древних сортов, возделывавшихся ацтеками в Центральной Америке (*1–3*), и початок кукурузы современного сорта *(4)*

Мутагенез — способ получения желаемых наследственных изменений с помощью мутагенов, вызывающих мутации.

Метод *полиплоидизации* основан на явлении полиплоидии. *Полиплоидия* (греч. *polyploos* — «многократный» и *eidos* — «вид») — наследственное изменение генотипа, возникшее в результате увеличения гаплоидного набора хромосом в клетках организма в кратное число раз: 3n — триплоид, 4n — тетраплоид, 6n — гексаплоид и т. д. Встречается преимущественно у растений и простейших. Большинство культурных растений полиплоидны, так как содержат в клетках более двух наборов хромосом. Полиплоиды характеризуются, как правило, крупными размерами, высокой урожайностью, устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды.

Методы селекции растений. При создании новых сортов растений сочетается всё разнообразие методов селекции. Основное значение в селекции культурных растений принадлежит искусственной гибридизации и сопутствующему ей явлению гетерозиса.

Методы селекции животных. Селекция животных — особая отрасль сельскохозяйственного производства. Она проводится с целью увеличения плодовитости и продуктивности пород домашних животных или выведения новых пород с нужными человеку свойствами (рис. 58).

В селекционной работе селекционеру всегда важно представлять конечную цель, к которой он стремится. Эта цель определяет выбор методов и направлений селекции.

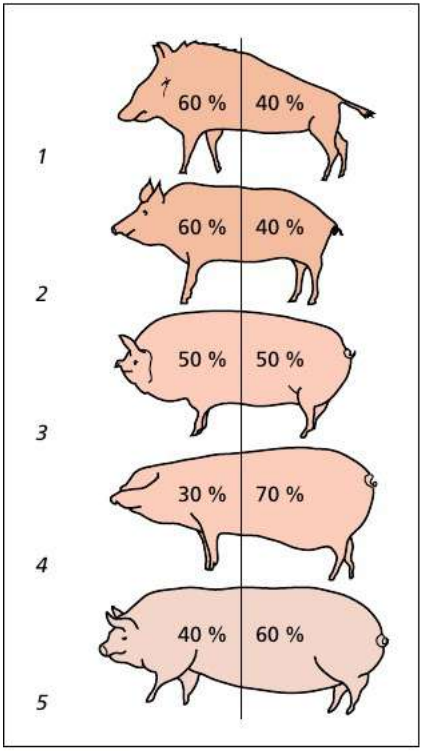


Рис. 58. Изменение тела свиньи в результате селекции (соотношение массы передней и задней частей тела у типов разной специализации показано в процентах):
1 — дикий тип;
2 — одомашненный тип;
3 — крупный тяжёлый (мясо-сальный) тип;
4 — мясной тип;
5 — современный мясной тип

Общие основы в селекции животных те же, что и в селекции растений. Но из-за своеобразия свойств животного организма в этой области есть свои особенности.

Так, в селекции животных не используется самооплодотворение и вегетативное размножение. Селекция животных всегда связана с подбором племенных производителей по нужным человеку признакам. При подборе особей для скрещивания непременно учитывается их генотип по родословным, в которых отмечаются все признаки предков производителей, интересующие селекционера. Число особей в потомстве животных невелико, поэтому каждая гибридная особь представляет большую ценность для выявления новых признаков и свойств. Важен также учёт наружных форм животного — его экстерьера, потому что многие признаки, например продуктивность (молочность, мясистость), связаны с определённым строением тела. Данное обстоятельство обязывает селекционера уделять особое внимание корреляционной (взаимосвязанной) зависимости между отдельными признаками, т. е. учитывать сцепленное наследование признаков.

Методы селекции микроорганизмов. Микроорганизмы — бактерии, микроскопические грибы и простейшие — используются в разных областях промышленности (в хлебопечении и виноделии, в производстве кормового белка, молочнокислых продуктов, антибиотиков, витаминов, гормонов, аминокислот, ферментов), в сельском хозяйстве (при производстве силоса), для биологической защиты растений и очистки сточных вод. В связи с этим развивается промышленная микробиология и ведётся интенсивная селекционная работа по выведению новых штаммов микроорганизмов с повышенной продуктивностью, которые вырабатывают вещества, необходимые человеку.

В селекции микроорганизмов используют те же методы, что и в селекции других организмов. Но микроскопические размеры и огромная ско-

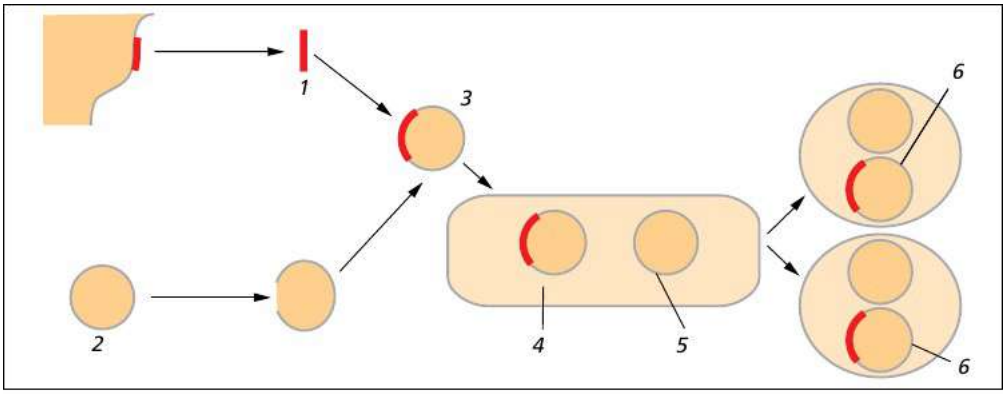


Рис. 59. Получение и передача гибридной ДНК в дочерние клетки: *1* — сегмент ДНК, предназначенный для переноса; *2* — ДНК донора; *3* — ДНК донора с включённым в неё сегментом чужой ДНК (гибридная ДНК-донор); *4* — бактериальная клетка; *5* — кольцевая ДНК в клетке бактерии; *6* — гибридная ДНК в клетках следующих поколений

рость размножения микроорганизмов обусловливают разработку особых методов, ускоряющих процесс получения новых высокопродуктивных штаммов.

Например, *генная инженерия* представляет собой совокупность методов воздействия на ДНК, позволяющих переносить наследственную информацию из одного организма в другой (рис. 59).

Таким путём получают белок *инсулин*, необходимый больным диабетом; *интерферон*, подавляющий размножение вирусов; *антиген вируса гепатита*, необходимый для борьбы с этим инфекционным заболеванием; *гормоны роста* человека и другие важные биологические вещества.

Клеточная инженерия — это метод конструирования клеток нового типа путём гибридизации их содержимого. При гибридизации искусственно объединяют целые клетки разных организмов, создавая новый *гибридный гено́м* (совокупность генов в гаплоидном наборе хромосом вида). Новую жизнеспособную клетку создают (реконструируют) также из отдельных фрагментов разных клеток (ядра, цитоплазмы, органоидов) путём пересадки ядер и слияния содержимого клеток.

Клеточная инженерия позволяет соединять в одной клетке наследственные материалы очень далёких видов, даже принадлежащих к разным царствам.

Использование живых клеток и биологических процессов для получения веществ, необходимых человеку, называют ***биотехнологией*** (греч. *bios* — «жизнь», *techne* — «мастерство» и *logos* — «учение»).

Генная и клеточная инженерия — это два направления биотехнологии. Они имеют важное практическое значение в микробиологической промышленности для синтеза биологически активных веществ, нужных человеку.

Селекция микроорганизмов имеет важное значение для решения многих проблем микробиологической промышленности, а также для медицины, производства лекарств, сельскохозяйственной индустрии, для разработки методов и средств очистки окружающей среды от загрязнений.

1. Охарактеризуйте основные методы селекции.
2. Почему гетерозис не является методом селекции?
3. Назовите известные вам местные сорта полевых и огородных культур растений.
4. По какой причине в животноводческих хозяйствах ведут строгий учёт признаков у животных?

Краткое содержание главы 3

1. Организм — это основная единица жизни. Он состоит из специализированных органов, взаимодействие которых обусловливает его целостность. Организм представляет собой биосистему, структура и функции которой отображают свойства организменного уровня жизни. Организм — биосистема открытого типа.

2. Организмы в природе представлены большим разнообразием форм. В их числе есть клеточные и неклеточные. Клеточные формы представлены одноклеточными и многоклеточными организмами. Многообразие организмов представлено царствами живой природы. Существуют следующие царства: Бактерии, Растения, Животные, Грибы, Вирусы.

3. Бактерии характеризуются строением, свойствами и закономерностями жизни прокариотических организмов. Растения, животные и грибы — эукариотические организмы. Вирусы являются особой формой жизни — неклеточной, они находятся как бы на границе живой и неживой природы. Воспроизводство вирусов происходит только внутри живых клеток.

4. Растения, животные и грибы представлены в природе одноклеточными и многоклеточными организмами. Их многообразие демонстрирует усложнение форм организмов в процессе длительного исторического развития органического мира на Земле.

5. Велико значение организмов в природе. Растения как автотрофы выполняют главную функцию продуцентов — образуют органические вещества из неорганических и запасают энергию солнечного света в своих клетках и тканях. Животные, грибы и бактерии как гетеротрофы выполняют функцию переработки и разрушения органических веществ до неорганических соединений, благодаря чему вещества возвращаются в природу. У тех и других в процессе исторического развития сформировались специализированные системы органов для осуществления процессов жизнедеятельности и различные способы размножения, обеспечивающие более

успешное (адаптированное) существование видов в изменяющихся условиях внешней среды.

6. Человек — представитель организменного уровня жизни. Принадлежа к царству животных, он в то же время обладает многими уникальными биосоциальными свойствами, отличающими его от других представителей животного мира.

7. Развитие каждого многоклеточного организма от его зарождения до смерти отображают эмбриональный и постэмбриональный периоды онтогенеза.

8. Образование половых клеток происходит в половых органах организма в процессе мейоза — редукционного деления клетки.

9. Размножение — главное свойство организмов, обеспечивающее непрерывность жизни вида и преемственность его свойств от поколения к поколению. Существуют бесполый и половой способы размножения. При половом размножении в результате слияния мужской и женской половых клеток образуется зигота — клетка, дающая начало новому организму с наследственными признаками, доставшимися ему от обоих родителей.

10. Наследственность и изменчивость — важные свойства организмов. Благодаря наследственности организм сохраняет и передаёт потомкам признаки своего вида, поддерживая их сходство между собой. Носителями наследуемых признаков организмов служат гены, заключённые в хромосомах. Изменчивость обеспечивает возникновение новых признаков у организмов.

11. Существует наследственная и ненаследственная изменчивость. В наследственной изменчивости, называемой также генотипической, различают комбинативную и мутационную изменчивость. Ненаследственная, или модификационная, изменчивость не затрагивает генотип и потому изменённые признаки не передаются потомкам. Закономерности наследственности и изменчивости широко используют в селекции растений, животных и микроорганизмов.

Подведём итоги

Что вы узнали из материалов главы 3 «Закономерности жизни на организменном уровне»?

Проверьте себя самостоятельно

1. Укажите основные отличия мейоза от митоза.

2. В чём проявляется биологическая роль женских и мужских гамет?

3. Какова роль наследственности и изменчивости в живой природе?

4. Охарактеризуйте зависимость между понятиями «ген» и «аллель».
5. Что такое мутация? Когда и где она происходит?
6. От чего зависит развитие организма на эмбриональном этапе онтогенеза?
7. Какую роль в народном хозяйстве играет селекция организмов?
8. Объясните эволюционное преимущество полового размножения организмов перед бесполым.
9. Почему свойства дочерних организмов, развившихся из зиготы, не идентичны родительским?
10. В чём заключается биологическая роль мейоза?
11. Рассмотрите внимательно схемы постэмбрионального развития животных. Назовите типы их развития:

а) яйцо (зигота) ⟶ детёныш ⟶ взрослое животное;
б) яйцо (зигота) ⟶ личинка ⟶ куколка ⟶ взрослое животное;
в) яйцо (зигота) ⟶ личинка ⟶ взрослое животное.

12. Охарактеризуйте сходство и различия между бластулой и гаструлой.
13. Какие процессы в развитии эмбриона происходят в период органогенеза?
14. В чём отличие генной инженерии от клеточной инженерии?
15. Какая из половых хромосом несёт в себе больше наследственной информации?

Выполните задания

А. Сформулируйте правильный ответ.

1. Одинаковые хромосомы от отца и матери называют
а) метафазными
б) гомологичными
в) диплоидными
г) одинарными

2. Моллюски — это группа животных, образующая систематическую категорию
а) тип
б) класс
в) отряд
г) семейство

3. Выберите три верных ответа из шести.
Признаками покрытосеменных растений являются
а) приспособления к разным видам опыления
б) размножение спорами

в) двойное оплодотворение
г) наличие цветков и плодов
д) внешнее оплодотворение
е) присутствие вегетативных органов

Б. Уберите лишний термин.

- Изменчивость, мутаген, мутация, генотип.
- Ген, изменчивость, генотип, наследственность.
- Фенотип, признак, ген, мутация.
- Бластула, размножение, гаструла, онтогенез.

В. Исправьте ошибку в утверждении.

Фенотипом называют совокупность всех признаков и генов организма.

Г. Замените терминами следующие словосочетания.

- Организм на ранних этапах развития.
- Индивидуальное развитие организма.
- Деление клеток, которое приводит к образованию гамет.

Обсудите проблему в классе

1. Почему живой организм называют открытой биосистемой?
2. Можно ли считать продолжительность жизни человека наследуемым признаком?
3. Как учение о наследственности и изменчивости отразилось на культуре человеческого общества?

Выскажите своё мнение

В чём заключается значимость знаний о наследственности и изменчивости лично для вас?

Ваша позиция

Наследственность — это уникальное свойство живых организмов. Согласны ли вы с тем, что знание основных закономерностей наследственности требует от человека внимательного и бережного отношения к своему здоровью и здоровью своих близких?

Проведите наблюдения и сделайте вывод

Внимательно рассмотрите рисунок 52. Проанализируйте строение, размеры и форму хромосом в кариотипе человека. Найдите у хромосом центромеры. Сравните их и сделайте вывод о местоположении центромер в хромосомах. Найдите парные хромосомы на выделенном жёлтым цветом фрагменте рисунка. Сопоставьте объём генетической

информации половых и неполовых хромосом. Сделайте общий вывод о наследственной информации, заключённой в данном кариотипе.

Учимся создавать проекты, модели, схемы

- Пользуясь ресурсами сети Интернет, подготовьте презентацию к докладу на тему «Мейоз».
- Изготовьте динамическую модель превращения молекулы ДНК в митотическую хромосому. Вначале подготовьте рисунок предполагаемой модели. Сконструируйте модель. Раскрасьте её, продемонстрируйте в классе и подарите школьному кабинету биологии.

Темы проектов для выполнения в группе

- Создание иллюстрированного атласа или электронного справочника на тему «Проявление ненаследственной изменчивости у животных в животноводческих хозяйствах».
- Выполнение презентации с изображениями и текстом на тему «Биотехнология на службе человечества».

- На первых стадиях развития зародыши всех позвоночных, в том числе человека, очень сходны между собой, что отображает общность их происхождения в процессе эволюции. Эта закономерность была открыта в 1828 г. российским учёным-эмбриологом Карлом Максимовичем Бэром (1792–1876) и получила название «закон Бэра».
- У человека в ходе эмбрионального развития первыми начинают обособляться головной и спинной мозг. Это происходит в течение третьей недели после зачатия. На данной стадии длина зародыша человека составляет всего 2 мм.
- Ярким примером гетерозиса является *мул* — межвидовой гибрид, полученный в результате скрещивания лошади с ослом. Это крупное животное значительно сильнее и выносливее лошади. Мулы обычно используются для перевозки тяжёлых грузов в трудных условиях, например в горах, на больших высотах. Своей окраской и формой тела они похожи на осла. Мулы как мужского, так и женского пола бесплодны.

Биосистема, бесполое размножение, половое размножение, гамета, зигота, хромосома, мейоз, перекрёст (кроссинговер), диплоидная клетка, гаплоидная клетка, онтогенез, ген, генотип, фенотип, мутация, скрещивание, наследственность, изменчивость, селекция, гетерозис, биотехнология.

Глава 4

Закономерности происхождения и развития жизни на Земле

Изучив эту главу, вы сможете характеризовать:

- современные представления о происхождении жизни на нашей планете;
- условия возникновения жизни на молодой Земле;
- суть эволюции живого мира, её причины и движущие силы;
- основные положения эволюционной теории Ч. Дарвина;
- закономерности происхождения видов.

Вы сумеете:

- объяснять роль естественного отбора в развитии живого мира;
- сравнивать основные идеи об эволюции, изложенные в теории Ч. Дарвина и в теориях его предшественников;
- доказывать роль вида и популяции в эволюционном процессе;
- называть основные закономерности и направления эволюции.

§ 30

Представления о возникновении жизни на Земле в истории естествознания

Вспомните

- какие организмы были первыми на нашей планете;
- что клетка — структурная единица организма.

Гипотезы о происхождении жизни. Вопросы возникновения и развития жизни на Земле занимают центральное место в естествознании, с давних пор привлекают внимание философов и натуралистов, вызывая споры и разногласия.

При обсуждении вопроса о происхождении жизни учёными выдвинуто множество гипотез, которые и сейчас ещё требуют достоверных подтверждений, несмотря на убедительность доводов. Большинство предположений,

на которых основываются эти гипотезы, являются умозрительными. Ведь история Земли не сохранила материальных свидетельств появления самых первых организмов нашей планеты. Воспроизвести же экспериментальным путём те очень далёкие от нас процессы в современных условиях пока невозможно, так как изменились сама Земля, её общий облик и состояние, её атмосфера и условия жизни на планете. Одной из первых была высказана идея о самозарождении живых организмов из неживой природы.

Представление о зарождении организмов из неживой природы активно развивали философы Древней Греции: Эмпедокл, Демокрит (V в. до н. э.) и особенно — Аристотель (IV в. до н. э.). Эта идея была широко распространена также в Древнем Китае, Вавилоне и Египте.

Эмпедокл утверждал, что первые живые существа возникли из четырёх элементов материи: огня, воздуха, воды и земли.

Демокрит полагал, что из ила и воды при участии огня могут самопроизвольно зарождаться живые существа, например рыбы. Аристотель также считал, что некоторые растения и животные могут самозарождаться из неживой материи. Это происходит в тех случаях, когда в неживом материале имеется некое «активное начало». Именно оно, подобно энергии, способно в благоприятных условиях привести к появлению живого из неживого материала. Например, из куска гниющего мяса под влиянием этого «активного начала» могут зародиться черви, а из червей — мухи.

Но уже в XVII в. идею самопроизвольного зарождения жизни из неживой материи стали подвергать сомнению. Итальянский биолог и врач Франческо Реди в результате проведения серии опытов высказал и подтвердил предположение о том, что живое не возникает самопроизвольно, а появляется от живых организмов.

Ф. Реди помещал в сосуды куски мяса различных животных. Одни сосуды плотно закупоривал, чтобы воздух не имел доступа к кускам мяса. Другие сосуды оставлял открытыми. Спустя некоторое время в открытых банках появлялись «черви» (личинки мух), а в закупоренных их не было. В труде «Эксперименты над зарождением насекомых» (1668) он, обобщая свои наблюдения, высказал предположение о том, что «черви» появились в результате полового размножения мух на гниющем мясе, а у самого гнилого мяса нет иной функции, кроме как служить питанием для мух и быть местом откладки их яиц.

Однако одной или двух серий экспериментов оказалось недостаточно для опровержения идей о самозарождении живого, ибо слишком много было в природе явлений, которые учёные того времени не могли объяснить. Чудесным казалось само появление на почве и в почве растений, животных или грибов — там, где их раньше не было. Как это происходит, было неясно. Ведь учёные в то время не имели микроскопа, не знали многих процессов и закономерностей развития организмов, известных в наши дни даже младшим школьникам.

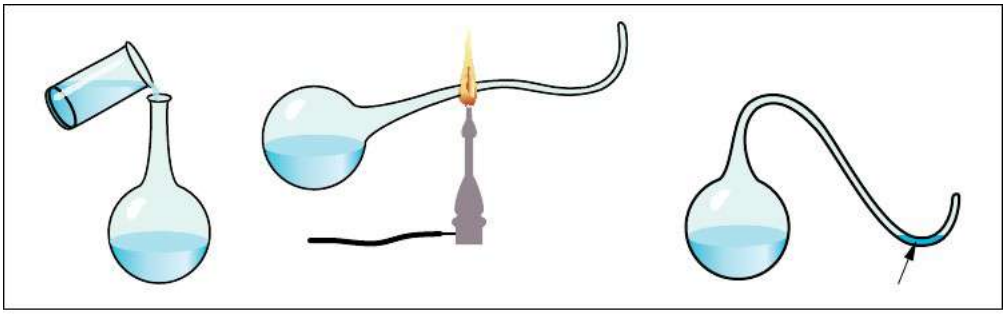


Рис. 60. Опыты Л. Пастера с колбами (стрелкой отмечены задерживающиеся в изогнутом горлышке пыль и микроорганизмы)

Только в конце 70-х гг. XIX в. опытами, блестяще поставленными великим французским биологом Луи Пастером, удалось доказать, что «неживое вещество», например мясо, легко заражается живым — вездесущими бактериями, яйцами мух, плесневыми грибами и другими микроорганизмами. В своих опытах Пастер использовал колбы с длинным изогнутым горлышком. Такое горлышко свободно пропускало воздух в колбу, но служило ловушкой для частиц пыли и микроорганизмов. Бактерии могли проникнуть в колбу и вызвать разложение находящегося в ней бульона только в том случае, когда горлышко в колбе было отломлено (рис. 60).

Опыты Л. Пастера доказали несостоятельность идеи о самозарождении жизни, но вызвали серию новых вопросов. Как и когда на Земле возникла жизнь? Какими были первые существа нашей планеты? Где они появились? В поисках ответа на первый и главный вопрос: «Как возникла жизнь на нашей Земле?» — сформировались следующие основные гипотезы.

1. Жизнь на нашу планету занесена извне, из Вселенной — *гипотеза панспермии* (греч. *pan* — «всё», «много» и *sperma* — «семя»).

2. Жизнь на Земле существовала всегда, но она претерпевала различные катаклизмы — *гипотеза стационарного состояния*.

3. Жизнь возникла на Земле в результате биохимических процессов в условиях ещё очень молодой планеты. Эту современную гипотезу называют *гипотезой биохимической эволюции*.

Обсуждение и критика этих гипотез обусловили развитие, с одной стороны, современных научных представлений об эволюции органического мира, а с другой — учения о происхождении жизни (теории биохимической эволюции) на Земле, убедительно объясняющего условия зарождения жизни на нашей планете.

?

1. Почему гипотеза о самозарождении организмов продержалась в естествознании в течение длительного времени?

2. Выберите правильный ответ.

Первым доказал, что жизнь не зарождается самопроизвольно
а) Ф. Реди
б) Л. Пастер
в) Демокрит
г) Аристотель

3. Сравните условия проведения опытов Ф. Реди и Л. Пастера, поставленных ими для опровержения идеи самозарождения жизни.

§ 31

Современные представления о возникновении жизни на Земле

Вспомните

- гипотезу панспермии;
- гипотезу стационарного состояния.

Биохимическая гипотеза А.И. Опарина. В 1924 г. российский учёный-биохимик А.И. Опарин опубликовал труд «Происхождение жизни», в котором высказал идею о биохимической эволюции жизни. Эта идея заставила весь мир по-новому взглянуть на вопрос о появлении живых организмов на Земле.

Александр Иванович Опарин (1894–1980)

Согласно биохимической гипотезе, выдвинутой Опариным, жизнь зародилась на Земле, а не была привнесена из космоса. В своей работе Опарин подчёркивал, что белки — первые предшественники организмов. В ряду химических и физических процессов (этап *химической эволюции*), происходивших на протяжении длительного времени в условиях молодой планеты, комплексы белков (*коацервaты*) приобрели свойства живых организмов. После этого начался этап борьбы за существование и отбора живых организмов в соответствии с закономерностями *биологической эволюции*.

Великой заслугой А.И. Опарина является создание гипотезы абиогенного (т. е. из неживых компонентов) происхождения органических веществ. Её основные идеи: первоначально жизнь возникла в Мировом океане как результат химической эволюции; развитие живой материи и появление большого разнообразия форм жизни произошли в процессе биологической эволюции, которая стала вторым, начавшимся после химической эволюции, важнейшим этапом развития жизни в истории Земли. В дальней-

шем А.И. Опарин неоднократно уточнял и углублял свои идеи, подкрепляя их новыми исследовательскими материалами.

Идею, сходную с точкой зрения Опарина, в 1929 г. высказал английский учёный Дж. Холдейн. Он выдвинул *генетическую гипотезу* происхождения жизни.

Условия возникновения жизни на Земле. Согласно современным научным данным, Земля образовалась примерно 4,5 млрд лет назад из скопления газов и холодных (замёрзших) пылевых частиц, состоявших из металлов и других химических элементов, окружавших формирующуюся молодую звезду — Солнце. Вначале Земля была газообразной и холодной, но по мере сжатия пылевого облака, под действием гравитации и под влиянием тепла от распада радиоактивных элементов её недра сгущались, разогревались и расплавлялись. При этом оказавшиеся внутри планеты газы поступали наружу и образовали первичную газовую атмосферу формирующейся Земли.

Первичная атмосфера по своему составу сильно отличалась от современной: в ней присутствовало значительное количество водорода, были молекулы воды (в виде пара), углекислого газа, метана и аммиака. Свободного кислорода в земной атмосфере не было. Образовавшаяся Земля обладала достаточно большой массой, что позволяло ей удерживать в своём окружении эти газы. В то же время она находилась на таком расстоянии от Солнца, что получаемого количества энергии хватало для поддержания воды в жидком состоянии.

В результате разогревания Земля стала очень горячей, и вода, испаряясь с её поверхности, образовала скопление густых облаков пара, окутавших молодую планету. Пары воды, охлаждаясь на высотах, превращались в жидкость и в виде ливней выпадали на горячую поверхность Земли. Такие ливни шли тысячелетиями, заполняя водой все впадины и трещины земной поверхности, образуя Мировой океан и одновременно вызывая охлаждение верхних слоёв планеты. Огромное влияние на Мировой океан оказала Луна, вызывавшая гигантские приливы и отливы.

В дождевой воде растворялись химические вещества из атмосферы и земной коры: метан, аммиак, цианистый водород, углекислый газ и многие другие. Вода, стекавшая в океаны, приносила с собой неорганические вещества; из их соединений с водой образовались различные соли. С ливневыми дождями в водоёмы попадали и молекулы простейших органических веществ, возникавших в атмосфере под влиянием ультрафиолетовых лучей и электрических разрядов (молний).

Накопление органических веществ превратило воды Мирового океана в своего рода «первичный бульон», содержавший смесь различных органических молекул. Эти молекулы, находясь близко друг от друга и вступая между собой в различные взаимодействия, создавали более сложные соединения. Так случалось бесчисленное количество раз в течение очень длительного времени, исчисляемого десятками миллионов лет. Среди множе-

ства образовавшихся соединений возникали отдельные сложные молекулы, в том числе белки, липиды, нуклеиновые кислоты, сахара и другие, которые затем могли стать «живой» молекулярной системой в виде клетки, существующей в водной среде.

Предположение о том, что в водах Мирового океана было растворено большое количество органических веществ, получило подтверждение в результате ряда экспериментов, проведённых учёными в наше время.

В 1953 г. американский биохимик С. Миллер создал установку, позволившую смоделировать древнейшие условия первобытной Земли. В итоге эксперимента им были синтезированы из неорганических веществ органические, в том числе ряд аминокислот, аденин, различные углеводы — сахара, и среди них рибоза. Другим исследователям в подобных опытах удалось синтезировать молекулы нуклеиновых кислот в виде небольших цепей, состоящих из шести мономерных единиц.

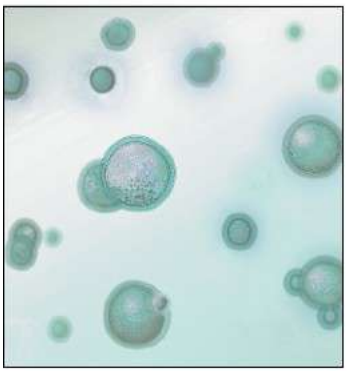


Рис. 61. Коацерватные капли

Коацерваты как предшественники организмов. Идею о коацерватах сформулировал А.И. Опарин. Он считал, что главная роль в превращении неживого в живое принадлежала белкам. Благодаря своим свойствам белковые молекулы способны притягивать к себе молекулы воды, которые создают вокруг них своеобразную оболочку. Эти комплексы могли обособляться от всей массы воды и сливаться друг с другом, образуя так называемые ***коацерваты*** (от лат. *coacervus* — «сгусток», «куча»), способные к поглощению веществ, богатых энергией, и благодаря этому — к увеличению своей массы и размеров (рис. 61).

Увеличиваясь в размере, коацерваты разделялись на более мелкие частички — так был обозначен путь размножения первичных живых организмов. Для поддержания устойчивости коацерватам требовалась энергия, которая, по-видимому, была заключена в химических связях различных веществ. Возможно, именно такие устойчивые структуры со временем (а этот процесс длился миллионы лет) и дали начало первым живым организмам в виде живых клеток, где нуклеиновые кислоты установили первичный контроль над основными внутриклеточными процессами, в том числе такими, как питание, рост и размножение. Учёные считают, что первые формы жизни на Земле появились примерно 4100–3700 млн лет назад.

А.И. Опарин главную роль в превращении органических веществ в живые организмы отводил белкам, а Дж. Холдейн полагал, что помимо белков большую роль в создании предшественников жизни играли нуклеиновые кислоты. Две гипотезы дополняют друг друга.

Итак, идеи, выдвинутые А.И. Опариным и Дж. Холдейном, коротко можно выразить следующим образом.

Жизнь на Земле прошла длительный путь эволюции химических веществ: из неорганических веществ образовались сложные органические вещества. Накопление их в течение миллионов лет в Мировом океане обеспечило возможность сложным молекулам концентрироваться в коацерваты, которые стали основой появления элементарных первичных организмов — *протобионтов* (от греч. *protos* — «первый» и *biontos* — «живущий»).

Пока ещё не совсем понятен сам момент перехода от комплекса сложных органических веществ в коацерватной капле к живой клетке, но ясно, что эта эволюция продолжалась несколько миллионов лет. Экспериментально пока ещё не воспроизведён сам момент, когда сложная молекулярная система становится живой системой. Поэтому идеи, высказанные Опариным, Холдейном и другими учёными, называют гипотезами, а не теориями, так как они ещё нуждаются в доказательстве.

1. Что представляет собой процесс коацервации?
2. Могут ли в современных условиях где-то на Земле происходить процессы возникновения жизни?
3. Дополните высказывания.
- Жизнь возникла на Земле путём … эволюции, а многообразие форм жизни — путём … эволюции.
- Коацерватами А.И. Опарин назвал … комплексы.
- Первые организмы возникли в «первичном бульоне», который содержал различные молекулы … .

§ 32

Значение фотосинтеза и биологического круговорота веществ в развитии жизни

Вспомните

- главное условие, необходимое для фотосинтеза;
- как питались первичные организмы.

Особенности первичных организмов. С появлением механизма воспроизведения (размножения) процесс зарождения жизни завершился. У первичных организмов — протобионтов — возникла первоочередная проблема — выживание в условиях окружающей среды на Земле.

Как полагает большинство учёных, первые организмы были гетеротрофами, и пищей им служили либо органические молекулы «первичного бульона», либо такие же первичные живые клетки. Вы уже знаете, что гетеротрофы — это организмы, которые питаются готовыми органическими веществами и используют энергию, выделяющуюся при распаде этих органических веществ. Потребности в энергии для осуществления процессов жизнедеятельности первые гетеротрофы, видимо, обеспечивали за счёт *брожения* — ферментативного процесса бескислородного превращения органических веществ, эффективность которого невелика. Подобный способ расщепления органических соединений в условиях, когда в атмосфере Земли отсутствовал свободный кислород, очевидно, являлся основным способом получения энергии.

Брожение — древняя и энергетически малоэффективная форма извлечения энергии из органических веществ. Брожению могут подвергаться органические кислоты, аминокислоты, углеводы и многие другие органические соединения, но быстрее всех — углеводы. Последовательно идущие друг за другом химические реакции брожения протекают непосредственно в цитоплазме. В этом процессе из химических связей, заключённых в органических молекулах, высвобождается энергия. Весь процесс идёт при содействии ферментов, но без участия кислорода. Брожение как способ выработки энергии существует и в наше время, например у многих бактерий, грибов, простейших и других организмов.

Как считают учёные, значительное увеличение численности гетеротрофов привело к истощению Мирового океана. Органических веществ, накапливающихся в его водах, стало не хватать для всё более увеличивающегося гетеротрофного населения. Кроме того, предполагают, что к этому времени под действием ультрафиолетового излучения Солнца происходило разложение молекул воды на водород и кислород, вследствие чего в атмосфере могло появиться некоторое количество свободного кислорода. Одновременно с этим в водной среде могли возникнуть и такие органические соединения, как пигменты, например хлорофилл, который мог быть захвачен и включён некоторыми организмами. Благодаря приобретению хлорофилла у этих организмов появилась возможность из неорганических веществ создать органические, нужные клетке. Таким путём, вероятно, возникло новое качество жизнедеятельности первичных организмов — способность к автотрофности.

Появление автотрофов. Возникшая в связи с нехваткой питательных веществ конкуренция гетеротрофов обусловила появление автотрофов. Как вам известно, автотрофы — это организмы, способные самостоятельно синтезировать органические вещества из неорганических с помощью солнечной энергии или энергии, образующейся в результате окисления неорганических соединений. Первыми фотосинтезирующими организмами, вырабатывающими в ходе фотосинтеза кислород, были цианобактерии (их

ранее называли синезелёными водорослями), появившиеся около 3500 млн лет назад.

Полагают, что миллионы лет назад, ещё на этапе коацерватных капель, когда их содержимое становилось всё более и более сложным, в результате случайных мутаций, происходящих в нуклеиновых кислотах, могли появиться отдельные более активные молекулы, способные использовать энергию света. Но пока питательные вещества были в избытке, это свойство не было востребовано первичными организмами. По мере сокращения количества органических молекул в окружающей среде способность использовать энергию света для их образования обеспечивало преимущество автотрофным организмам и их потомству.

У первых автотрофов не сразу сформировался сложный механизм фотосинтеза. Предполагают, что это происходило постепенно, путём накопления небольших изменений. Важным шагом на пути усложнения строения первых организмов было появление у них хлорофилла — пигмента, улавливающего свет. Хлорофилл поглощает энергию солнечного света с длиной волны в красной и синей частях спектра и отражает в его зелёной части. Поэтому содержащие хлорофилл организмы приобрели зелёную окраску.

Появление хлорофилла у эукариот положило начало развитию особого мира организмов — мира *растений*. Растения как автотрофы способны поглощать энергию Солнца, на свету выделять кислород, потреблять углекислоту и создавать из неорганических веществ органические.

С появлением автотрофов начались необратимые изменения в условиях существования жизни на Земле. В результате колоссальной геохимической работы фотосинтезирующих организмов образовалось большое количество свободного кислорода в атмосфере (за счёт разложения воды при фотосинтезе), произошло накопление солнечной энергии в химических связях и вовлечение в живое вещество огромных масс углекислого газа, поставляемого в те времена в атмосферу из недр Земли в процессе активной вулканической деятельности.

Появление автотрофных организмов на Земле внесло грандиозные изменения во все процессы, протекающие на нашей планете.

Изменения условий жизни на Земле. По мере увеличения концентрации кислорода в атмосфере стали существенно меняться условия среды, окружающей живые организмы. Нарушились многие сложившиеся биохимические процессы. Это вызвало гибель живых существ, для которых свободный кислород оказался токсичным. Вместе с тем накопление газообразного кислорода в атмосфере обусловило возникновение у организмов процесса *дыхания*. Способность в результате кислородного дыхания синтезировать значительное количество высокоэнергетических молекул АТФ давала возможность таким организмам успешно осваивать наземно-воздушную среду, что впоследствии и произошло.

Фотосинтез, обеспечив лучшую выживаемость автотрофов, одновременно способствовал накоплению газообразного кислорода в атмосфере Земли. Теперь случайно образующиеся в атмосфере органические вещества окислялись кислородом и распадались. Кроме того, кислород в верхних слоях атмосферы под действием мощного ультрафиолетового излучения Солнца превращался в активный озон (O_3). С образованием вокруг Земли озонового слоя, задерживающего ультрафиолетовые лучи, фактически прекратилось возникновение новых органических молекул в атмосфере. Но, поглощая большую часть жёстких коротковолновых ультрафиолетовых лучей, разрушительно действующих на сложные органические соединения, озоновый слой выполнял защитную функцию и стал одним из условий для выхода живых организмов из воды на сушу.

Появление автотрофов не только расширило энергетические ресурсы для жизнедеятельности разнообразных организмов, но и включило в обменные процессы большое количество новых неорганических веществ. При этом сами автотрофы оказались разнообразной и высокоэнергетической пищей для гетеротрофов.

Возникновение биосферы. Взаимодействие автотрофов и гетеротрофов, их непрерывное рождение и гибель привели к появлению на Земле нового мощного планетарного процесса — *биологического круговорота веществ*. Образование органических веществ одними существами и поедание их другими приводило к тому, что эти вещества, как могучий поток, стали перемещаться из внешней среды к живым организмам, откуда они, видоизменяясь, снова возвращались в окружающую среду. И так круг за кругом, бесконечно.

Благодаря своей жизнедеятельности, процессам биосинтеза и распада органических соединений организмы вовлекали в биологический круговорот веществ многие химические элементы Земли.

Уже на ранних этапах своего развития живые организмы способствовали сокращению в атмосфере исходных запасов аммиака, водорода, метана, сероводорода. Бактерии и водоросли в древних водных бассейнах связывали огромные массы железа, марганца, серы, азотных соединений, образовывали «осадочные» железные, марганцевые, серные руды и свободный азот. Бактерии, водоросли и простейшие (например, фораминиферы), погибая, создавали на дне водоёмов многометровые отложения извести. Залежи фосфатов, гипса, железисто-кремнистые и многие другие породы также являются продуктами жизнедеятельности древних организмов, особенно бактерий.

Таким образом, появившиеся на Земле организмы существенно меняли её свойства. В итоге некогда безжизненная планета обрела особую оболочку, населённую живыми существами, — *биосферу*. Биосфера включает все организмы планеты и элементы неживой природы, составляющие сре-

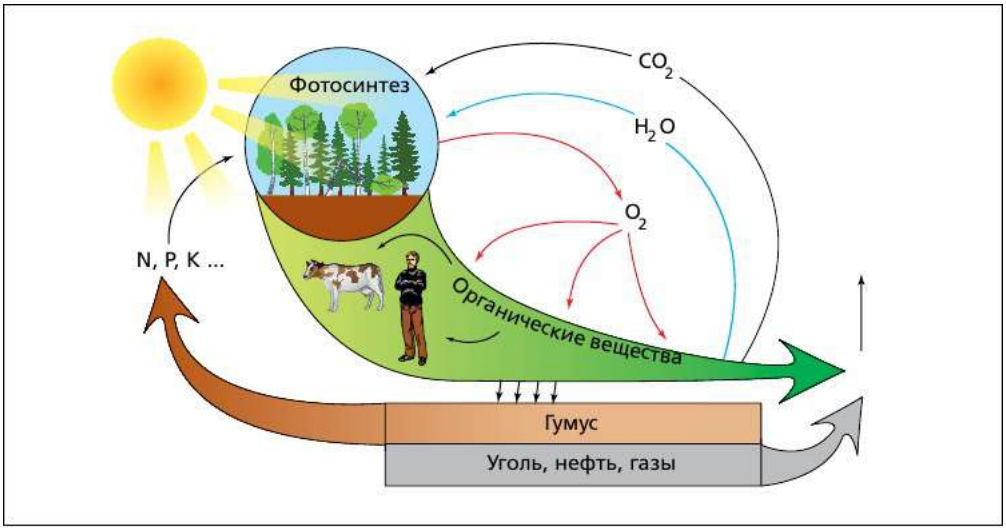


Рис. 62. Схема биологического круговорота веществ и превращения энергии

ду их обитания. Благодаря взаимодействию живых и неживых компонентов биосферы осуществляется биологический круговорот веществ в природе (рис. 62).

Изучение истории нашей планеты и развития жизни на ней приводит к выводу, что жизнь — это важнейший геологический фактор, который с момента своего появления на Земле производил и производит коренные изменения в составе геологических образований и окружающей среды, а это, в свою очередь, вызывает изменения и в самой жизни, и в свойствах всей биосферы.

1. Какие факторы обусловили появление автотрофов на Земле?
2. Объясните роль гетеротрофов и автотрофов в биологическом круговороте веществ.
3. Раскройте роль фотосинтеза в биосфере.
4. В какой момент на Земле появилась биосфера?

§ 33

Этапы развития жизни на Земле

Вспомните

- какую энергию для своей жизнедеятельности используют гетеротрофы;
- какую энергию используют автотрофы.

Общее направление эволюции жизни. Историю Земли и развития жизни на ней обычно подразделяют на следующие друг за другом этапы — ***эры***. В эрах выделяют *периоды*, а в периодах — *эпохи*. Это очень длительные промежутки времени в истории нашей планеты, длившиеся миллионы лет.

В истории Земли выделяют шесть эр: *катархей* («ниже древнейшего») начался примерно 4600 млн лет назад; *архей* («древнейший») — 4000 млн лет назад; *протерозой* («первичная жизнь») — 2500 млн лет назад; *палеозой* («древняя жизнь») — 542 млн лет назад; *мезозой* («средняя жизнь») — 252 млн лет назад; *кайнозой* («новая жизнь») — более 65 млн лет назад и продолжается по сей день.

История Земли насчитывает не менее 4,5 млрд лет. Менее чем через полмиллиарда лет на Земле уже могла появиться жизнь. Это событие обозначает границу между катархеем и археем. Формирование первых живых организмов происходило в водной среде, возможно, вблизи горячих источников, насыщенных органическими и неорганическими веществами подобно бульону.

Первыми живыми существами были одноклеточные организмы — *протобионты*, или протоклетки. Они дали начало прокариотам, разделившимся на две эволюционные ветви — *археи*, или архебактерии, и *бактерии*. Затем в результате сложных симбиотических взаимодействий между археями и бактериями появились первые настоящие эукариоты. Эукариоты, в свою очередь, дали начало огромному многообразию видов организмов — одноклеточных и многоклеточных, автотрофных и гетеротрофных, водных и наземных.

Выход организмов на сушу. Первыми, еще в архейскую эру, освоили сушу бактерии, тем самым начав процесс почвообразования. Около 470 млн лет назад на влажных берегах пресных водоёмов, на болотах поселились первые примитивные растения; полагают, что это были мхи-печёночники, произошедшие от зелёных водорослей. А первыми растениями с развитыми проводящими тканями были *риниофиты* — древние сосудистые растения. Они достигли 20–25 см в высоту, имели только зелёные стебли и спорангии, в которых развивались споры. У риниофитов ещё не было листьев и настоящих корней, но получать воду из почвы и выживать на суше им помогал симбиоз с грибами (микориза).

Около 400 млн лет назад сушу освоили древние членистоногие — *ракоскорпионы*, родственники современных мечехвостов и паукообразных. Примерно 375 млн лет назад появились и первые наземные позвоночные животные — предки амфибий. С тех пор эволюция живого мира шла не только в водной, но и в наземной среде.

Выход организмов на сушу обусловил появление у них в процессе эволюции разнообразных приспособлений к жизни в наземно-воздушной среде.

Сухость наземно-воздушной среды способствовала появлению у организмов плотных покровов, сохраняющих влагу. Для осуществления газообмена стали использоваться внутренние поверхности, образовались специальные ткани и органы, осуществляющие дыхание и предотвращающие потерю воды. Вследствие низкой плотности воздушной среды у животных возникли панцири и скелеты, а у растений — механические ткани во всех органах тела, выполняющие опорную функцию. У животных в связи с необходимостью передвижения в поисках пищи и укрытий сформировались конечности, помогающие бегать, плавать, копать, прыгать, летать (рис. 63). Растения, ведущие прикреплённый образ жизни, приобрели в процессе эволюции побеги и корни, а также способность постоянно их наращивать и тем самым расширять места добывания питательных веществ.

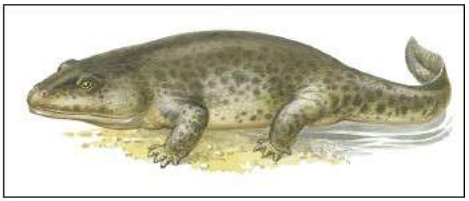


Рис. 63. Древнее земноводное

На суше организмы сталкивались с обилием света, его суточными и сезонными ритмами яркости и продолжительности. Это обусловило появление у организмов ночного или дневного образа жизни. При этом у многих видов выработались совместные, приуроченные друг к другу ритмы развития. Для лучшего улавливания света у растений появились листья и ветвление побегов.

Выход растений и животных на сушу в истории Земли произошёл сравнительно недавно. Но к этому времени в морских водах и в пресных водоёмах жизнь уже достигла достаточно высокого уровня развития. За многие миллионы лет путём длительной эволюции появились разнообразные виды бактерий, растений, грибов и животных. Значительная часть их вымерла, но многие группы древних организмов или производные от них существуют и в наше время. Например, среди растений это водоросли, печёночные мхи, плуны, древовидные папоротники, а среди животных — амёбы, инфузории, губки, мечехвосты (морские членистоногие), тараканы, латимерии (кистепёрые рыбы), акулы, крокодилы.

Этапы развития жизни. ***Катархей*** (от 4600 до 4000 млн лет назад) — эра, в которую происходило образование «первичного бульона» в водах Мирового океана, процесс коацервации.

Архей (от 4000 до 2500 млн лет назад) — эра прокариот: архей и бактерий, в том числе цианобактерий. Осадочные породы подтверждают их наличие в этой эре. В архее появляются первые эукариоты — одноклеточные водоросли (зелёные, жёлтозелёные, золотистые и др.) и простейшие. Среди них — жгутиковые эукариоты (эвгленовые, вольвоксовые), саркодовые (амёбы, фораминиферы, радиолярии) и др. Начался процесс почвообразования. На границе между архейской и протерозойской эрами у организмов появились половой процесс и многоклеточность.

Протерозой (от 2500 до 542 млн лет назад) — огромная по продолжительности эра. Расцвет эукариотических организмов, по своему разнообразию намного опережающих прокариот. Появление многоклеточности и дыхания обусловило прогрессивное развитие гетеротрофов и автотрофов. Наряду с плавающими формами (водоросли, простейшие, медузы) появляются прикреплённые ко дну или какому-либо субстрату нитчатые зелёные, пластинчатые бурые и красные водоросли, губки, кораллы, а также ползающие организмы, например кольчатые черви, моллюски и членистоногие. Появляются симбиотические и паразитические формы организмов.

Палеозой (от 542 до 252 млн лет назад) — эра, которая характеризуется достаточно большими находками ископаемых организмов. Они свидетельствуют о том, что в этот период в водной среде (солёных и пресных водоёмах) обитали представители почти всех основных типов животных. Появились позвоночные (кроме птиц и млекопитающих). В пресных водах появились акулы, двоякодышащие и кистепёрые рыбы (от последних произошли наземные позвоночные).

Растения, животные и грибы вышли на сушу. Началось бурное развитие высших растений. Появились листостебельные мхи. Образовались первые леса из гигантских папоротников, хвощей и плаунов. Но в конце палеозоя они вымерли, образовав залежи каменного угля. Появились животные, дышащие воздухом. По всей Земле распространились рептилии (растительноядные и хищные), появились насекомые.

Мезозой (от 252 до 65 млн лет назад) часто называют эпохой рептилий. Они представлены разнообразными формами: плавающими, летающими, сухопутными, водными и околоводными. Достигнув большого расцвета, рептилии почти все вымерли в конце мезозоя. Появились птицы и млекопитающие (яйцекладущие и сумчатые). Широко распространились голосеменные растения, особенно хвойные. Появились покрытосеменные растения, но представленные только древесными формами. В морях господствовали костистые рыбы и головоногие моллюски.

Кайнозой (от 65 млн лет назад и до настоящего времени) — расцвет покрытосеменных растений, насекомых, птиц, млекопитающих и появление человека. Уже в середине кайнозоя имелись почти все основные группы представителей всех царств живой природы. Появились степи, луга. Сформировались все основные типы природных биогеоценозов. С появле-

нием человека и развитием общества создаются культурные флора и фауна, образуются агроценозы, сёла и города. Природа стала активно использоваться человеком для удовлетворения его потребностей.

История Земли характеризуется уникальным явлением: на основе химической эволюции в природе возникла живая материя, которая затем с помощью биологической эволюции достигла высокого уровня развития. В этом историческом процессе развития жизни на Земле появилось огромное разнообразие биологических видов и различных биосистем, сформировался человек и образовалась биосфера с глобальным биологическим круговоротом веществ. Эти события происходили на протяжении длительного времени в меняющихся условиях окружающей среды на планете. Процессы развития жизни продолжаются и в наше время.

1. Можно ли эры назвать этапами развития жизни на Земле?
2. Какое явление живого мира обусловливало возникновение новых, всё более сложных форм организмов?
3. Объясните, почему прокариоты, раньше других вышедшие на сушу, не дали такого большого разнообразия живых форм, как эукариоты.
4. Почему именно земноводные смогли выйти на сушу?

§ 34

Идеи развития органического мира в биологии

Вспомните

- этапы развития органического мира на Земле;
- как сторонники панспермии объясняли происхождение живого на Земле.

Появление эволюционных идей. Живой мир Земли огромен. Он представлен уникальным разнообразием живых существ: известно более 2 млн видов эукариот (более 500 тыс. видов растений, около 1,5 млн видов животных) и несколько тысяч видов прокариот. При таком разнообразии форм жизни все организмы состоят из одних и тех же химических элементов и органических соединений, сходным образом осуществляют биосинтез и обмен веществ с окружающей средой, используют энергию в процессах жизнедеятельности, способны одинаково размножаться, при половом размножении их развитие начинается с одной клетки — зиготы.

Как же объяснить многообразие видов при таком сходстве свойств у живых организмов? Каким образом возникли сложные организмы? Под

действием каких сил у них сформировались приспособительные свойства? Ответы на эти вопросы даёт ***эволюционное учение*** (лат. *evolutio* — «развёртывание»).

Эволюционное учение — это наука о причинах, движущих силах и общих закономерностях исторического развития живой природы.

Основоположником эволюционного учения является английский естествоиспытатель Чарлз Дарвин. Современное учение об эволюции опирается на эволюционную теорию, сформулированную Ч. Дарвином в середине XIX в. и опубликованную им в 1859 г. в книге «Происхождение видов». Однако различные гипотезы и теории о развитии органического мира выдвигались задолго до него, поскольку эволюция жизни на Земле принадлежит к числу величайших проблем естествознания, с давних времён привлекающих внимание натуралистов и философов.

Так, древнегреческий философ-материалист и диалектик Гераклит (ок. 530 — ок. 470 до н. э.) в сочинении «О природе» пишет: «Жизнь природы — непрерывный процесс движения. В нём всякая вещь и всякое свойство переходят в свою противоположность. В борьбе противоположностей обнаруживается, однако, их тождество. Всё, непрерывно изменяясь, обновляется, потому нельзя дважды вступить в одну и ту же реку: на входящего во второй раз текут уже новые воды».

Другой знаменитый древнегреческий учёный — Аристотель (IV в. до н. э.), признавая материальную основу мира, а также сравнивая между собой различные виды организмов, пришёл к выводу о том, что в природе имеются простые и сложные тела.

Французский естествоиспытатель Ж.Л. Бюффон в многотомном труде «Естественная история» выдвинул предположение об изменяемости видов, о естественном родстве организмов и о единстве животного и растительного мира. В России П.С. Паллас высказал мысль о происхождении организмов некоторых видов от общих предков. Английский врач, натуралист и поэт Э. Дарвин, дед Ч. Дарвина, предложил натурфилософскую идею об изменяемости видов, об экономии в природе и эволюции организмов. Швейцарский эмбриолог Ш. Бонне в 1762 г. в работе, посвящённой процессу размножения ряда беспозвоночных животных, впервые ввёл в биологию понятие «эволюция».

В XIX в. во Франции Ж. Кювье на основе данных сравнительной анатомии животных и палеонтологии выдвинул теорию катастроф. Исходя из неё, он объяснял смену фаун и появление новых видов стихийными бедствиями, произошедшими в различные периоды истории Земли.

Современник Ж. Кювье, английский геолог Ч. Лайель, в противовес его теории катастроф, создал учение об эволюции поверхностных слоёв Земли. Лайель высказал новую идею о медленном и непрерывном изменении земной поверхности под влиянием постоянных геологических факторов (разница температур, вода, вулканические силы, живые существа и др.)

и убедительно доказал эту гипотезу прогрессивными изменениями, наблюдаемыми у ископаемых остатков животных. Ч. Дарвин был увлечён трудами Лайеля.

Подобные высказывания многих натуралистов способствовали утверждению идеи об эволюционном развитии органического мира, но каких-либо специальных трудов, обосновывающих эту идею, до конца XVIII в. не было.

Теория эволюции Ж.Б. Ламарка. Первым, кто непосредственно обратился к исследованию эволюции живых организмов, был французский естествоиспытатель Ж.Б. Ламарк. Свою эволюционную теорию Ламарк изложил в 1809 г. в труде «Философия зоологии», где объяснял возможные пути развития животных и растений. Главными в его теории были следующие положения.

1. Изменения в окружающей среде ведут к изменению видов животных и растений.

2. Необходимость в изменении и образовании новых приспособительных свойств обусловлена внутренним стремлением самих организмов к прогрессу, особенно у высших животных.

Предположения об эволюции Ламарк обобщил в виде двух «законов»: «закона упражнения и неупражнения» и «закона наследования приобретённых признаков». Он считал, что факторы среды прямо, непосредственно действуют на организмы и таким образом создают новые нужные формы. Основываясь на этих «законах», Ламарк объяснял возможные пути эволюции. Он полагал, что новый вид развивается в процессе смены многих поколений как результат приобретения новых признаков или утраты неупражняемых признаков.

Ламарк доказывал действие своих «законов» примерами: предки змей имели конечности, но не использовали их, они стали мешать им ползать, поэтому конечности исчезли со временем в ряду большого числа поколений. Из-за «ненужности» произошла редукция глаз у крота. У цапли развились длинные ноги потому, что ей надо держать тело высоко над водой. Необходимостью доставать сочную листву деревьев в засушливых местах, где нет травы, Ламарк объяснял наличие длинных шеи и ног у жирафа.

Обоснование роли окружающей среды в изменяемости свойств организмов, доказательство постепенности повышения уровня организации живых существ от простейших до человека и значения в этом процессе длительности времени — сильные стороны теории Ламарка. Однако его взгляды на механизм изменчивости организмов и образования новых видов были ошибочными. Его теория, получившая затем название *ламаркизм*, являлась умозрительной, т. е. основанной на ряде не подтверждённых экспериментально постулатов. Объяснение прогрессивной и приспособительной эволюции стремлением самих организмов к усовершенствованию своих изначальных признаков было односторонним и *телеологичным* (греч. *teleos* — «цель» и *logos* — «учение»): «осознание» цели своего разви-

тия приписывалось самой природе как присущее ей внутреннее свойство. Потому теория Ламарка не смогла противостоять господствующему тогда *креационизму* (лат. *creatio* — «сотворение»), согласно которому происхождение и многообразие живого мира объяснялось божественной волей, что полностью отрицало наличие эволюции в природе.

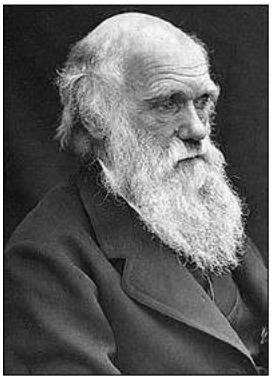
1. Поясните, как вы понимаете термин «эволюция».
2. Почему теория Ж.Б. Ламарка о развитии организмов получила признание, несмотря на то что она не объясняет сути и механизма эволюции?
3. Какие «законы» сформулировал Ламарк?

§ 35

Чарлз Дарвин об эволюции органического мира

Вспомните

- какие идеи о происхождении видов были выдвинуты Ж.Б. Ламарком;
- почему теория Ж.Б. Ламарка не получила признания в биологии.



Чарлз Роберт Дарвин (1809–1882)

Исследования Ч. Дарвина. В 1859 г. Ч. Дарвин опубликовал труд «Происхождение видов путём естественного отбора, или Сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь», в котором он изложил результаты своих многолетних (более 20 лет) специальных исследований для доказательства эволюции.

Для объяснения процесса эволюции органического мира Дарвин исследовал четыре основных взаимосвязанных фактора (свойства живого): *изменчивость*, *наследственность*, *борьбу за существование* и *естественный отбор*. Их он считал ***движущими силами эволюции***.

Сравнивая между собой две или несколько особей одного вида, легко обнаружить, что у них всегда имеются какие-то отличия друг от друга — в окраске или размерах, повадках, плодовитости и других признаках. На основании анализа таких различий у отдельных особей вида Дарвин констатирует, что организмам каждого вида свойственна изменчивость. Поскольку некоторые признаки,

появляющиеся у потомства, наблюдались и у их родителей, Дарвин делает вывод о том, что особи получили эти признаки от родителей благодаря наследственности. Изменения, которые могут передаваться по наследству, обнаруживаются у каждого вида, особенно если размножение идёт половым путём. Дарвин предположил, что некоторые изменения (вариации) в наследственности помогают особям выжить в определённых условиях окружающей среды, тогда как другие наследственные свойства этому не способствуют.

Сочинение Ч. Дарвина появилось в то время, когда ещё не было трудов по генетике, раскрывающих закономерности наследственности и изменчивости. Публикация работы Г. Менделя произойдёт позже — только в 1865 г. Поэтому обращение Дарвина в его теории эволюции к явлениям наследственности и изменчивости было в то время совершенно новым подходом к раскрытию идеи развития органического мира.

Основываясь на большом количестве примеров, Дарвин отмечает, что каждая пара организмов может дать значительное число потомков (животные откладывают много яиц, икринок, у растений созревает множество семян, спор), но выживает лишь их незначительная часть. Большинство особей гибнет, не достигнув зрелого возраста. Причины гибели — неблагоприятные условия внешней среды: нехватка пищи, враги, болезни или зной, засуха, мороз и др. На этом основании Дарвин приходит к выводу, что в природе между организмами происходит непрерывная ***борьба за существование*** (рис. 64). Она ведётся как между особями разных видов (*межвидовая борьба за существование*), так и между особями одного и того же вида (*внутривидовая борьба за существование*). Ещё одним проявлением борьбы за существование выступает *борьба с неживой природой* (неблагоприятными факторами среды).

В итоге борьбы за существование некоторые вариации признаков у одной особи дают ей преимущество выживания по сравнению с другими особями этого же вида, обладающими иными вариациями наследуемых признаков. Часть особей с неблагоприятными вариациями погибает. Этот процесс Ч. Дарвин назвал ***естественным отбором***. Наследуемые признаки, повышающие вероятность выживания и размножения данного организма, передаваясь от родителей к потомкам, будут встречаться в последующих поколениях всё чаще и чаще. В результате в течение некоторого периода времени таких особей с новыми признаками становится много, и они оказываются настолько непохожими на организмы первоначального вида, что уже представляют собой особей нового вида.

Дарвин утверждал, что естественный отбор — общий путь образования новых видов.

Роль естественного отбора в эволюции. Дарвин выдвигает важную новую гипотезу о наличии в природе естественного отбора, который осу-

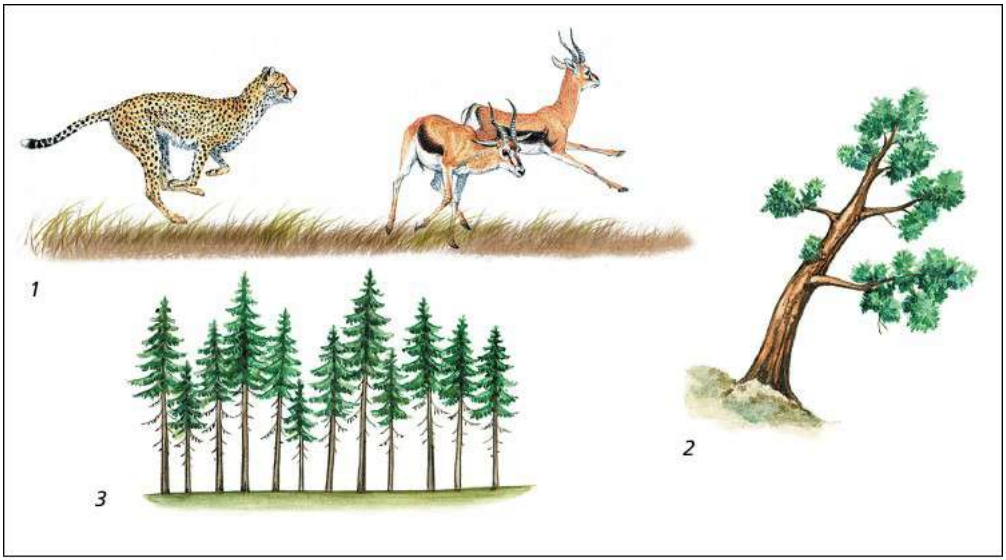


Рис. 64. Борьба за существование (по Ч. Дарвину): *1* — межвидовая борьба (гепард догоняет антилоп); *2* — борьба с неживой природой (форма кроны дерева, произрастающего в местах, обдуваемых сильным ветром); *3* — внутривидовая борьба (одновозрастные ели в загущённых посадках)

ществляется влияниями внешних условий среди большого количества особей вида, обладающих различными вариациями наследуемых признаков.

«Естественный отбор, — пишет Ч. Дарвин, — действует исключительно путём сохранения и накопления изменений, благоприятных при тех органических и неорганических условиях, которым каждое существо подвергается во все периоды своей жизни. Естественный отбор — этого никогда не следует забывать — действует только на пользу данного существа и через посредство этой пользы... Естественный отбор ведёт к расхождению признаков и значительному истреблению менее усовершенствованных и промежуточных форм жизни».

Опираясь на идею о естественном отборе, Ч. Дарвин определил пути эволюционных преобразований.

Главным моментом в эволюционном процессе он считал расхождение признаков у особей и появление новых форм из одной формы, или *дивергенцию* (лат. *divergo* — «отклоняюсь», «отхожу»). Расхождение признаков у особей ведёт к уменьшению конкуренции в группе, так как организмы благодаря новым свойствам получали возможность использовать различные условия существования. По такому пути с помощью дивергенции из ранее существовавших видов образуются новые виды, соответствующие новым условиям среды обитания.

Естественный отбор Дарвин считал главной движущей силой эволюции.

Результатом действия этой силы являются такие феномены: 1) постепенное усложнение и повышение уровня организации живых существ; 2) приспособленность организмов к условиям окружающей среды; 3) многообразие видов.

С помощью естественного отбора, по Дарвину, в природе формируются новые виды из уже существующих видов.

К выводам о роли естественного отбора Дарвин пришёл после тщательного изучения истории возникновения новых пород животных и сортов культурных растений. В условиях одомашнивания человек выполняет отбор. Из многообразия вариантов, определяемых изменчивостью, человек отбирает ту форму, которая больше всего соответствует его интересам. Такое целенаправленное создание новых видов Дарвин назвал *искусственным отбором* (рис. 65). Исследование механизма и результатов искусственного отбора оказалось для Дарвина важным этапом на пути обоснования теории естественного отбора и его действия в природе без участия человека.

Теория Дарвина об эволюции органического мира объясняет *приспособленность* (*адаптацию*) организмов к окружающей среде и рассматривает многообразие видов как неизбежный результат действия естественного отбора в связи с расхождением наследуемых признаков. Адаптации (лат. *adaptatio* — «прилаживание», «приспособление») — это совокупность морфолого-физиологических, поведенческих, популяционных и дру-

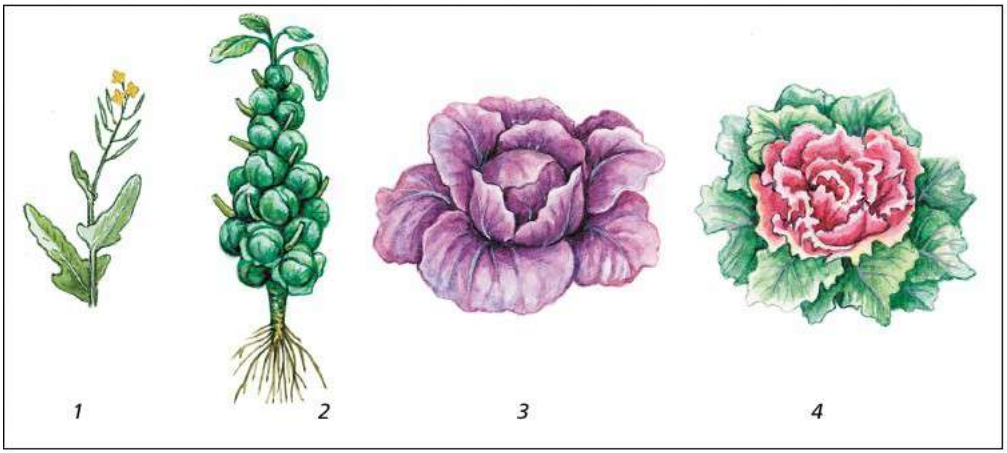


Рис. 65. Дикий предок капусты *Brassisa oleracea (1)* и её культурные формы: *2* — брюссельская; *3* — краснокочанная; *4* — декоративная

гих приспособительных особенностей вида, обеспечивающих ему возможность существовать в определённых условиях внешней среды. Дарвин подчёркивал, что любое приспособительное свойство имеет *относительный характер*, поскольку полезно организму только в его конкретной, привычной среде обитания. Однако и в привычной среде всегда возможны другие, более совершенные адаптации организмов к внешним условиям.

Значение работ Ч. Дарвина. Ч. Дарвин открыл механизм, т. е. движущие силы эволюции, к которым он относил наследственность, изменчивость, борьбу за существование и естественный отбор. При этом он отмечал также большое значение способности организмов размножаться в геометрической прогрессии. Впервые в науке Дарвин подчеркнул роль вида в эволюции и доказал, что современные виды (дикие и одомашненные) произошли от ранее существовавших видов.

Создав научную теорию эволюции, Дарвин всесторонне обосновал исторический метод в исследовании природы. Теория происхождения видов в корне изменила представления об эволюции органического мира и стала крупнейшим научным достижением, значимым событием в XIX в. Фундаментальность теории Дарвина заставила представителей всех биологических наук соотносить свои идеи с её положениями. На теории Дарвина базируется и современное общее понимание эволюции.

1. Какие выводы являются основными в эволюционной теории Ч. Дарвина?
2. Раскройте механизм действия естественного отбора.
3. Почему теория Дарвина оказалась более убедительной, чем теория Ж.Б. Ламарка?
4. Какой смысл вкладывал Ч. Дарвин в понятие «борьба за существование»?

§ 36

Современные представления об эволюции органического мира

Вспомните

- какова роль вида в эволюции;
- каковы причины эволюции.

Понятие о популяции. Благополучное существование различных видов животных и растений требует подходящих условий и необходимых для поддержания жизни ресурсов. При перемещении особей из одной

местности в другую условия обитания могут меняться, причём некоторые факторы могут меняться плавно (например, температура при продвижении с юга на север), другие остаются без изменений (например, содержание углекислого газа в воздухе), а третьи меняются скачкообразно (например, состав и структура почв).

Всё это приводит к тому, что подходящие для того или иного вида условия формируются в пространстве как бы в виде отдельных «островков». Виды заселяют эти подходящие им «островки», а потому распространены не равномерно, а отдельными группами — *популяциями*. В этом состоит своеобразие биологических видов — они существуют в форме популяций.

Популяция (от лат. *populus* — «народ», «население») — это группа организмов одного вида, обладающих способностью свободно скрещиваться и неограниченно долго поддерживать своё существование в данном районе.

Популяции одного вида могут быть отделены друг от друга чёткими границами (рис. 66). Границы между популяциями водных организмов проходят по береговым линиям водоёмов. У многих видов, обитающих в наземно-воздушной среде, границы между популяциями размыты. Из-

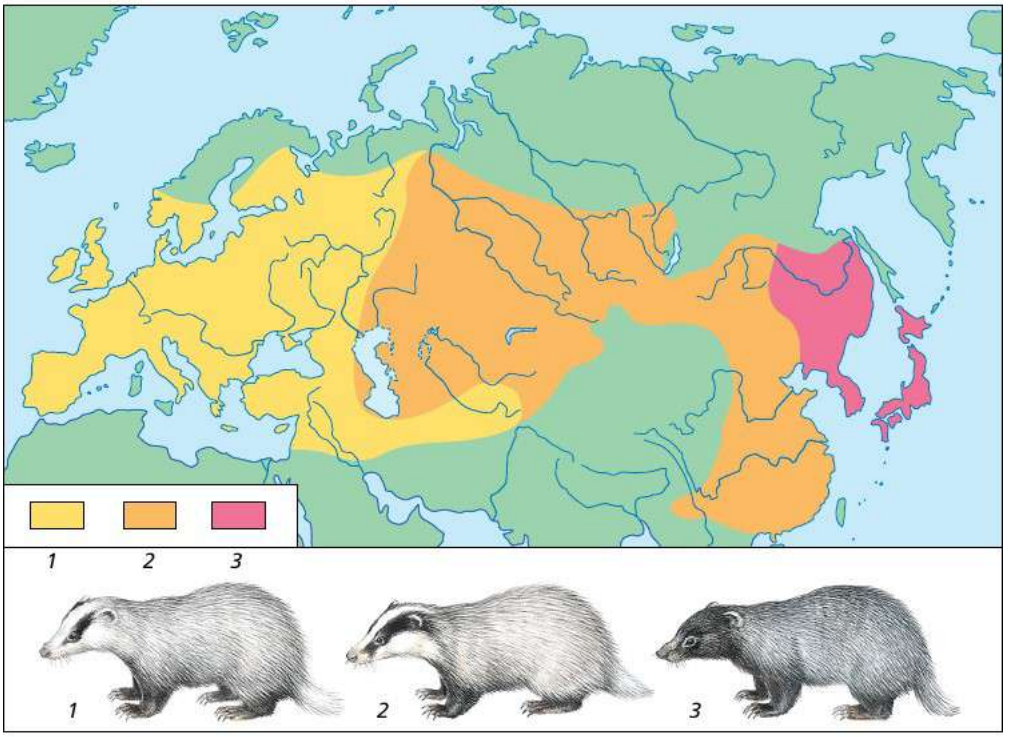


Рис. 66. Территории, занимаемые представителями трёх разных популяций барсука *(Meles meles)*

вестно, например, что границы территорий, занимаемых популяциями многих грызунов (леммингов, полёвок и др.), зависят от численности этих животных. Они как бы пульсируют, расширяясь при возрастании обилия зверьков и сокращаясь при его снижении. Разные популяции одного и того же вида птиц контактируют на местах зимовок или во время миграций. Семена растений могут переноситься на большие расстояния животными, ветром и т. д.

Популяции — самовозобновляющиеся группы организмов, сохраняющие устойчивость во времени и пространстве.

Условия жизни в разных районах могут несколько различаться. Под влиянием этого в отдельных популяциях могут возникать и накапливаться свойства, отличающие их друг от друга. Это может проявляться в небольших различиях в строении организмов, их физиологических свойств и др. Иными словами, популяции, как и отдельные организмы, обладают изменчивостью. Как и среди организмов, среди популяций невозможно найти две полностью тождественные.

Изменчивость популяций — важный фактор эволюции. Она повышает внутреннее разнообразие вида, его устойчивость к локальным (местным) изменениям условий жизни, позволяет ему проникать в новые места обитания и закрепляться там. Существование в форме популяции обогащает вид, обеспечивает его целостность и сохранение основных видовых свойств.

Популяция как элементарная единица эволюции. Современную эволюционную теорию часто называют *синтетической*, потому что она включает в себя не только *дарвинизм* (т. е. идеи Ч. Дарвина о естественном отборе и борьбе за существование), но и современные открытия генетики, морфологии, биохимии, физиологии, экологии и других наук. Особенно продуктивными для развития синтетической теории эволюции (СТЭ) оказались данные генетики и молекулярной биологии. Хромосомная теория и теория гена раскрыли основные причины мутаций и механизмы наследования признаков, а открытия молекулярной биологии и генетики позволили выяснить способы хранения, реализации и передачи генетической информации с помощью ДНК.

Отдельные особи одной популяции, несмотря на большое сходство, имеют некоторые отличия. Такая разнородность генотипов, составляющих генофонд популяции, возникает в результате мутаций и служит основой эволюционных процессов: положительные мутации сохраняются, а негативные отсеиваются под действием естественного отбора.

Популяция — наименьшая группа особей одного вида, способная к эволюционному развитию. Поэтому её называют элементарной единицей эволюции.

Важнейшие понятия теории эволюции. В современном эволюционном учении различают такие понятия, как *элементарная единица эволюции, элементарные явления эволюции, элементарный материал эволюции* и *элементарные факторы эволюции*.

Изменения, накапливающиеся в одной популяции с помощью рекомбинаций, мутаций и естественного отбора, обусловливают её качественное и репродуктивное обособление (дивергенцию) от других популяций. Эти изменения, происходящие в популяциях, называют *элементарными явлениями эволюции*. Изменения отдельных особей не приводят к эволюционным изменениям, так как для этого требуется значительное накопление сходных наследуемых признаков, а это доступно только целостной группе особей, какой является популяция.

Элементарным материалом эволюции служит наследственная изменчивость (комбинативная и мутационная) у особей популяции. При определённых условиях и в течение некоторого времени возникшие новые наследуемые признаки могут достигнуть достаточно высоких концентраций у одной или нескольких смежных популяций вида. Группы особей с такими новыми признаками можно обнаружить на одной территории внутри ареала вида.

Элементарные факторы эволюции включают следующие явления.

1. *Естественный отбор* — устраняет из популяции особей с неудачными комбинациями генов и сохраняет особей с генотипами, которые не нарушают процесса приспособительного формообразования. Естественный отбор направляет эволюцию.

2. *Мутационный процесс* — поддерживает генетическую неоднородность природных популяций путём возникновения мутаций.

3. *Популяционные волны* — создают массовость элементарного эволюционного материала. Каждой популяции свойственно определённое колебание численности особей в сторону то увеличения, то уменьшения. Эти колебания в 1905 г. отечественный учёный-генетик С.С. Четвериков назвал «волнами жизни».

4. *Изоляция* — обеспечивает барьеры, исключающие свободное скрещивание организмов. Она может выражаться в пространственной, географической или биологической (поведенческой, физиологической, экологической, химической и генетической) несовместимости (рис. 67).

Рис. 67. Популяции малоподвижных организмов могут быть изолированы друг от друга пространством даже в несколько метров

Нарушая свободное скрещивание, изоляция расчленяет исход-

ную популяцию на две части и более, отличающиеся друг от друга, и закрепляет различия в их генофондах. Разделённые части популяции уже самостоятельно подвергаются действию естественного отбора.

5. ***Дрейф генов*** — случайный процесс, обеспечивающий уменьшение генетического разнообразия внутри популяции за счёт закрепления одних аллелей и утраты других. Способствует увеличению различий между популяциями, что, в свою очередь, может служить основой для видообразования.

Изоляция, мутационный процесс, популяционные волны и дрейф генов, являясь факторами эволюции, влияют на эволюцию вида, но не направляют её. Направленность эволюции задаётся естественным отбором.

1. Замените выделенные слова утверждения термином.

- *Наименьшая группа особей одного вида, способная к эволюционному развитию,* — элементарная единица эволюции.
- *Расхождение признаков организмов* Ч. Дарвин использовал для объяснения появления разнообразия форм в эволюции организмов.

2. В чём отличие современного учения об эволюции от эволюционной теории Дарвина?

3. Почему популяцию называют элементарной единицей эволюции?

4. Каким образом естественный отбор направляет ход эволюции?

§ 37

Вид, его критерии и структура

Вспомните

- почему современную теорию эволюции называют синтетической;
- какую роль в теории эволюции играет популяция.

Понятие о виде. ***Вид*** — одно из основных и сложнейших понятий в биологии. Это понятие позволяет не только систематизировать огромное разнообразие живых организмов на Земле, но и решить вопрос о путях, причинах, а также механизмах видообразования и эволюции живой природы.

Вид — реально существующая единица живого мира, защищающая свой генофонд от притока генов других видов.

Вид состоит из популяций. Каждая популяция эволюционирует относительно независимо от других популяций данного вида. Изменения в популяциях приводят к изменению вида.

Вид — основная таксономическая единица в системе организмов.

В начале 60-х гг. XX в. американский учёный-эволюционист Э. Майр предложил «биологическую концепцию вида», выдвинув следующие идеи. Виды состоят не из особей, а из популяций; виды характеризуются не различием, а обособленностью; главной особенностью вида является его репродуктивная изолированность от других видов. Взгляды Майра укрепили понятие о виде как о многообразной политипической системе. Такая система состоит из различных внутривидовых структурных подразделений — популяций. Идея политипического вида в настоящее время признана многими учёными-эволюционистами в разных странах, а учение об эволюции раскрывается на основе популяционной концепции.

Строгого определения понятия «вид» в биологии пока ещё не создано. Чаще всего вид рассматривается как совокупность отдельных групп сходных особей — популяций. Благодаря различным популяциям вид полнее использует многообразие среды в своём ареале и потому оказывается лучше приспособленным к условиям обитания. При этом вид выступает как целостное и самостоятельное природное образование, имеющее свою историю становления, особую эволюционную судьбу.

Критерии вида. Для характеристики вида используют пять основных критериев (признаков): морфологический, физиолого-биохимический, географический, экологический и репродуктивный.

Морфологический критерий позволяет различать разные виды по внешним и внутренним признакам. Например, род смородина содержит несколько хорошо различающихся между собой по внешнему облику видов смородины: *чёрная*, *красная* (рис. 68), *золотистая*, *альпийская*, *тяньшанская*, *красивая* и др. У них различная окраска цветков и плодов, на побеге по-разному располагаются соцветия, имеются некоторые различия и в форме листьев.

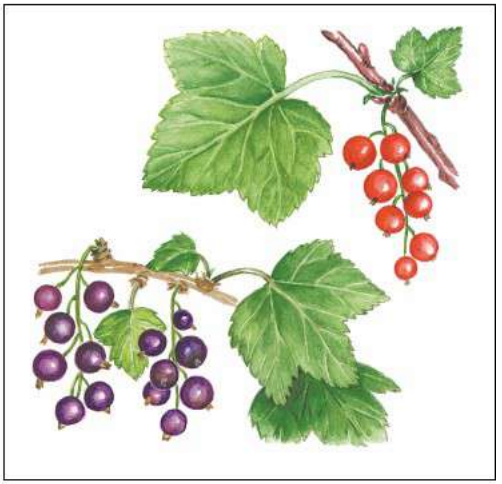


Рис. 68. Смородина красная и смородина чёрная

Физиолого-биохимический критерий фиксирует неодинаковость химических свойств разных видов. Так, все виды смородины специфичны по составу белков, сахаров и других органических соединений в клетках растений, что легко выявляется даже по

вкусовым качествам их плодов, по аромату цветков, плодов, листьев, почек, коры.

Географический критерий основан на том, что каждый вид обладает своим ареалом. Например, ареалом *смородины чёрной* являются северные регионы Евразии, тогда как ареалом *смородины золотистой* — центральные территории Северной Америки, *смородины тяньшанской* — лесной пояс гор Центрального Тянь-Шаня в Средней Азии.

Экологический критерий позволяет различать виды по комплексу абиотических и биотических условий, в которых они сформировались, приспособившись к жизни. Так, *смородина чёрная* появилась в условиях значительного почвенного увлажнения, её естественные заросли нередко встречаются по берегам рек, в низинах, на заливных лугах, тогда как *смородина золотистая* сформировалась в засушливых условиях остепнённых предгорий и на влажных местах не произрастает. В искусственных насаждениях (в садах и парках) оба эти вида иногда выращиваются рядом, но цветут в разные сроки: *смородина чёрная* цветёт ранней весной, *смородина золотистая* — в первой половине лета.

Репродуктивный критерий репродуктивной (генетической) изоляции одного вида от других, даже близкородственных. Все виды имеют особые механизмы, защищающие их генофонд от притока чужеродных генов. Это достигается главным образом особенностями генотипа у особей каждого вида — количеством и строением его хромосом. Репродуктивный критерий очень важен, так как именно он контролирует репродуктивную изоляцию вида.

Репродуктивная изоляция видов достигается и рядом других вспомогательных механизмов, например несовпадением сроков размножения, различием ритуального поведения при скрещивании, наблюдаемого у многих животных, морфологическими различиями органов воспроизведения и др. Если же, например, у растений произойдёт случайное опыление цветка пыльцой другого вида или у животных — случайное спаривание, то в преобладающем большинстве случаев мужские половые клетки в новой для них среде погибнут, не осуществив оплодотворения (обычно даже не достигнув яйцеклетки).

Изредка в природе встречается межвидовое скрещивание. Однако возникшие таким путём гибриды оказываются или нежизнеспособными и вскоре гибнут, или бесплодными.

Каждый вид представляет собой генетически замкнутую систему, репродуктивно изолированную от других видов.

Реально вид существует в форме многих популяций. И хотя вид является единой генетической системой, его генофонд представлен генофондами разных популяций. Накопившись со временем в большом количестве, новые вариации генов в генофонде какой-либо популяции могут привести

к её изоляции от других популяций этого вида. Таким путём возникают новые виды. Вот почему популяцию как наименьшее подразделение вида, изменяющееся во времени, считают элементарной единицей эволюции.

1. Назовите знакомые вам виды растений и животных, обитающих рядом с вашим домом или школой.
2. Какие механизмы препятствуют межвидовому скрещиванию?
3. Почему репродуктивный критерий считают важнейшей характеристикой вида?
4. Укажите сходство и различия между географическим и экологическим критериями.

§ 38

Процессы образования видов

Вспомните

- какие факторы могут привести к изоляции популяций;
- какова роль мутаций в изоляции видов.

Понятие о микроэволюции. Видообразование — сложнейший процесс в развитии живой материи. Возникновение нового вида всегда сопровождается разрывом связей с родительским видом и превращением в новую, обособленную совокупность популяций и организмов. Новый вид может образоваться из одной популяции или группы смежных популяций вида.

Возникновение нового вида — центральное событие эволюции.

Проблема видообразования принципиально была решена Ч. Дарвином, показавшим роль дивергенции (расхождения признаков), естественного отбора и острой внутривидовой конкуренции между организмами.

По современным представлениям, видообразование осуществляется благодаря популяциям, накопившим в себе устойчивые генотипические и фенотипические различия приспособительного характера. Эти различия в результате приводят к изоляции популяции и образованию нового, самостоятельного вида. Эволюционные процессы, протекающие в популяциях на основе наследственной изменчивости под контролем естественного отбора и приводящие к образованию новых видов, называют ***микроэволюцией***.

Образование видов определяется многими причинами. В одних случаях это происходит в результате пространственно-территориальной (геогра-

фической) изоляции, препятствующей регулярному обмену генетической информацией. Например, этот процесс может быть вызван расселением вида в новые условия за пределы его ареала. В других случаях образование нового вида может быть обусловлено биологической (репродуктивной) изоляцией, возникшей внезапно, например из-за полиплоидии или мутации. Микроэволюция представляет собой важнейший, магистральный, путь увеличения многообразия видов на Земле и общей «суммы жизни» в биосфере.

Микроэволюция приводит к изменению генофонда популяции внутри вида и к образованию новых видов на Земле.

Новые виды могут возникать из смежных популяций на разных территориях либо внутри ареала исходного вида.

Видообразование в результате географической изоляции. *Географическое видообразование* возникает в результате пространственно-территориальной изоляции одной популяции или группы популяций вида. Например, отдельные популяции в ареале вида могут быть разъединены горами, реками, пустынями, автострадами, застройками и другими ландшафтными барьерами, затрудняющими частый обмен генами между популяциями.

Географической изоляцией Ч. Дарвин объяснял появление разнообразия *земляных вьюрков* (семейство овсянковых) на нескольких островах Галапагосского архипелага в Тихом океане. Вероятно, земляные вьюрки — это потомки нескольких особей вьюрков из Южной Америки, случайно унесённых в море во время бури, осевших и сохранившихся на Галапагосских островах.

Вьюрки, попав на отдельный остров Галапагосского архипелага, оказались в среде, отличающейся от той среды, которую они покинули. Здесь они столкнулись с новыми экологическими условиями того конкретного острова, где случайно оказались. Они стали основателями популяций *дарвиновых вьюрков*, не скрещивающихся между собой, на разных островах архипелага. Под давлением естественного отбора популяции вьюрков эволюционировали на разных островах в разных направлениях — изменялся внешний вид и строение клюва, появились своеобразные повадки, особенно при добывании пищи (экологический критерий). Изолированные друг от друга, эти популяции спустя некоторое время обособились в новые самостоятельные виды (см. рис. 73, § 40).

То же происходит при расселении вида на бóльшей территории. В результате более удалённые от центра расселения, периферийные популяции и их группы интенсивно преобразуются в связи с освоением новых мест обитания и становятся родоначальниками новых видов. Примером могут служить виды судака, населяющего водоёмы Европы (рис. 69).

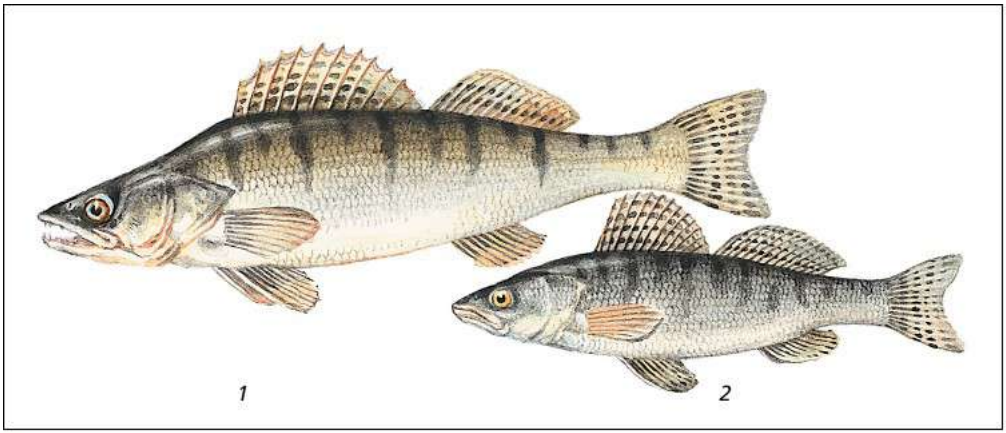


Рис. 69. Судак обыкновенный *(1)* и судак берш *(2)*

Судак обыкновенный (Stizostedion lucioperka) имеет огромный ареал. Он распространён в бассейнах Балтийского, Чёрного, Азовского и Каспийского морей. Населяет реки, чистые озёра и моря. В солёные воды морей судак заходит на откорм, но нерестится только в пресной воде. *Судак берш (S. volgensis)* обитает в реках бассейнов Каспийского, Азовского и Чёрного морей, но встречается там главным образом в низовье и среднем течении рек, где и нерестится. В море на откорм далеко не заходит, держится преимущественно пресных вод. Берш по размерам меньше судака обыкновенного, и на нижней челюсти у него нет клыков. Судак морской *(S. marinus)* — более крупный, но отличается от судака обыкновенного и берша меньшим размером глаз, меньшим числом лучей в спинном плавнике. В отличие от других судаков, судак морской совсем не заходит в реки, избегает опреснённых районов и нерестится в море на каменистых участках прибрежья.

Характерно, что эти виды судака могут одновременно находиться в одних и тех же водных бассейнах, но не скрещиваются между собой, поскольку генетически уже изолировались друг от друга.

Новые виды могут возникать также вследствие прерывистости (мозаичности) ареала. Примером такого процесса служит возникновение близкородственных видов одуванчика от широко распространённого родительского вида.

Исходный вид одуванчика миллионы лет назад занимал огромную территорию всего континента Евразии. Изменение почвенно-климатических условий на этой территории, появление гор, степей, пустынь, засолённых и сырых почв обусловили возникновение многочисленных видов одуванчика (более 200 видов), обитающих в холодной, умеренной и субтропической зонах. Широко распространившийся вид *одуванчик обык-*

новенный (Taraxacum officinale) сохранился на лугах, лесных полянах, у обочин дорог и в засорённых местах около жилья. *Одуванчик кок-сагыз (T. kok-saghyz)* сформировался в условиях жаркого засушливого климата на твёрдой солоноватой почве. В отличие от одуванчика обыкновенного, у одуванчика кок-сагыз листья узкие, глубоко рассечённые, а в млечных сосудах корня содержится значительный процент каучука. В высокогорье, на холодных альпийских лугах Центрального Тянь-Шаня, сформировался вид *одуванчик розовый (T. roseum)*, внешне очень похожий на вид одуванчик обыкновенный, но с соцветиями из розовых язычковых цветков.

Географическое видообразование всегда протекает довольно медленно — на протяжении сотен тысяч поколений. Только за такие большие промежутки времени в изолированных популяциях вида у организмов возникают и закрепляются новые признаки и свойства, которые приводят к репродуктивной изоляции.

Биологическое разнообразие. *Видообразование* в пределах ареала исходного вида происходит в результате биологической изоляции. Оно осуществляется на основе территориально единой популяции, у которой имеются чётко различающиеся формы особей. Возникновение новых видов при биологическом видообразовании может происходить различными путями.

Один из них — возникновение новых видов при быстром *изменении генотипа*. Это происходит, например, при полиплоидии, когда новые формы оказываются сразу генетически изолированными от родительского вида.

Если случайно возникшие в природе полиплоиды способны дать жизнеспособное потомство и устоять в естественном отборе, то они могут быстро распространиться и существовать рядом с исходным видом. Этот способ видообразования часто встречается у растений и простейших. У многоклеточных животных он наблюдается редко — лишь у некоторых беспозвоночных, например у дождевого червя.

Другой путь биологического видообразования обусловлен экологическими событиями, например: сезонной изоляцией популяций внутри вида; изоляцией из-за выработки иных пищеварительных ферментов в связи с переходом на питание другим видом растений (часто наблюдается у тлей); изоляцией, вызванной появлением особого поведения у особей.

Виды, возникшие биологическим путём, обычно очень похожи по внешним морфофизиологическим признакам на исходный вид.

1. Охарактеризуйте основные различия географического и биологического типов видообразования.
2. Какова роль случайности в эволюции видов?
3. Происходит ли видообразование в современную эпоху?
4. Найдите ошибку в утверждениях. Сформулируйте их правильно.

- Процессы изменения вида в ходе естественного отбора называют микроэволюцией.
- Процесс возникновения нового вида, который сопровождается разрывом связи с родительским видом, называют дивергенцией.

§ 39

Макроэволюция как процесс появления надвидовых групп организмов

Вспомните

- как совершается микроэволюция;
- каков результат микроэволюции.

Условия дифференциации вида. Все микроэволюционные процессы протекают в пределах вида. Из многочисленных генетических сочетаний в генотипах особей вида под воздействием естественного отбора в популяции появляются новые признаки. Благодаря им эта группа организмов может успешно существовать в изменившихся, новых условиях среды.

Возникшие новые признаки могут стать причиной освоения новых мест обитания и новых источников питания. Это приводит группу особей вида, обладающих этими признаками, к усилению размножения, увеличению численности и к расселению на новые территории. Возникшие таким путём группы особей всегда оказываются в несколько иных местообитаниях. На этой основе развивается популяционная структура вида, т. е. вид дифференцируется на разные популяции. С накоплением признаков, усиливающих изоляцию какой-то популяции от её вида, процесс дифференциации может завершиться появлением нового вида — близкого по ряду признаков к родительскому (т. е. родственного), но изолированного от него по качеству признаков.

С образованием нового вида микроэволюционные процессы не прекращаются, а продолжаются далее без какого-либо перерыва. Завершение одного этапа грандиозного и постоянно идущего в живом мире процесса эволюции знаменует собой начало нового этапа — образования очередного нового вида с новыми признаками и новой судьбой. Поэтому вид называют *качественным этапом* эволюционного процесса.

Макроэволюция. Непрерывно идущий микроэволюционный процесс видообразования сопровождается крупными эволюционными событиями, захватывающими другие систематические группы (таксоны) крупнее, вы-

ше вида, которые называют *надвидовыми группами*. Это, например, род, семейство, отряд, класс, тип, отдел, царство, надцарство.

Эволюционные преобразования, ведущие к формированию таксонов более высокого ранга, чем вид, называют макроэволюцией.

Макроэволюция (греч. *macros* — «большой», «длинный») — это процессы эволюционных событий крупного масштаба. Она не имеет специфических механизмов и осуществляется только посредством микроэволюции. Накапливаясь, микроэволюционные процессы получают внешнее выражение в макроэволюционных явлениях. Они представляют собой обобщённую картину эволюционных изменений, наблюдаемую в историческом грандиозном процессе — эволюции.

Весь процесс макроэволюции осуществляется только посредством элементарных процессов микроэволюции.

Именно на уровне макроэволюции обнаруживаются общая тенденция, направления и закономерности эволюции органического мира, которые не поддаются наблюдению на уровне микроэволюции. Термин «макроэволюция» был введён в 1927 г. российским учёным-генетиком Ю.А. Филипченко (1882–1930).

Макроэволюция происходит на протяжении геологических эпох в течение десятков и сотен миллионов лет. Огромные масштабы макроэволюционных явлений (например, возникновение новых семейств и отрядов) исключают возможность их непосредственного экспериментального исследования.

Доказательства эволюции. Для доказательства эволюционного процесса используют косвенные материалы: данные палеонтологии, эмбриологии, биогеографии, морфологии, сравнение структур ДНК, РНК, молекул хлорофилла, гемоглобина и др. Рассмотрим некоторые из них.

Палеонтологические доказательства эволюции. Их особенно много накопила *палеонтология* — наука об ископаемых остатках организмов, существовавших некогда на Земле. Сопоставление остатков животных или растений, а также следов их жизнедеятельности, сравнение их строения с ныне существующими видами служит документом для восстановления истории развития отдельных групп организмов, времени их появления и вымирания, темпов эволюции, направлений и тенденции развития органического мира. Учёные обнаружили множество примеров следов жизни былых эпох. Среди них находки тел мамонтов, сохранившихся в вечной мерзлоте, насекомых в янтаре, окаменелостей трилобитов, раковин, костей и зубов животных в осадочных породах, отпечатков листьев растений на каменном угле, отпечатков археоптерикса, следов динозавров и др. (рис. 70).

Эмбриологические доказательства эволюции. На основе сравнения зародышей из разных систематических групп удалось обнаружить

Рис. 70. Ископаемые остатки растений и животных

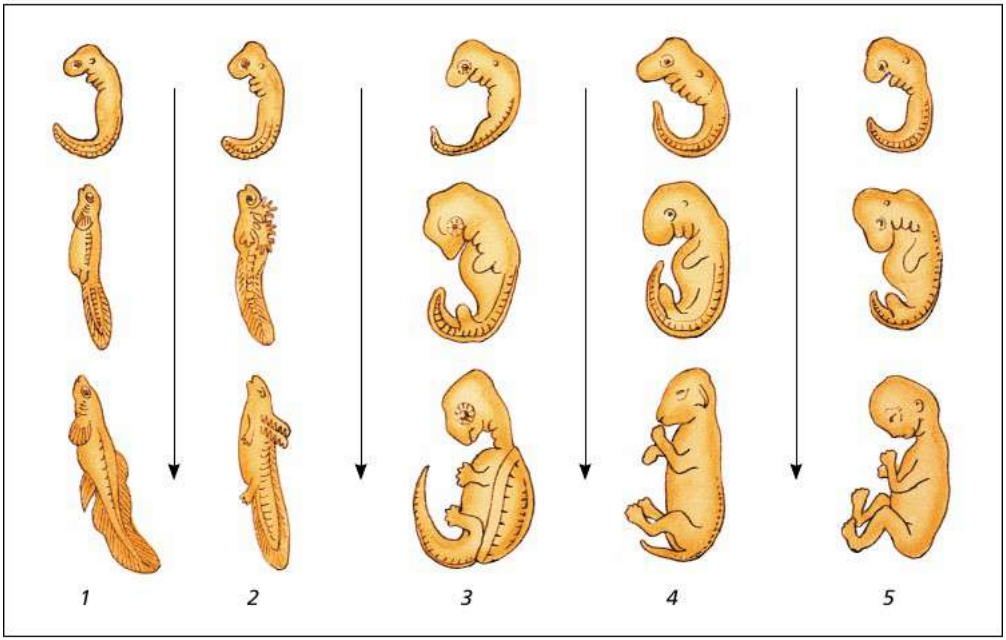


Рис. 71. Сходство стадий эмбрионального развития: *1* — рыбы; *2* — амфибии; *3* — рептилии; *4* и *5* — млекопитающих (*4* — овцы, *5* — человека)

значительное сходство организмов на их ранних стадиях развития (рис. 71).

Факт сходства эмбрионов впервые описал в 1828 г. известный отечественный учёный-эмбриолог Карл Максимович Бэр. Сходство наблюдается на стадиях зиготы, дробления, гаструляции и ранней дифференциации (см. § 14). Сходство наблюдается и у растений. Так, на ранних стадиях развития растения из споры мхи, плауны, хвощи сходны с нитчатыми зелё-

ными водорослями, а у папоротников заросток имеет форму слоевища, похожего на слоевище зелёных многоклеточных водорослей.

Сравнительно-анатомические доказательства эволюции. Сравнивая строение органов, принадлежащих организмам разных систематических групп, можно установить сходство строения и происхождения отдельных органов, даже если они внешне различаются между собой. Так, изучив строение плавников древней кистепёрой рыбы *целаканта*, удалось установить происхождение конечностей наземных позвоночных животных. Органы, развивающиеся из одних зачатков, обычно имеют общий план строения, хотя при этом внешне могут заметно различаться. Например, передние конечности крота, крыло птицы и летучей мыши, плавник кита и рука человека имеют одинаковый план строения. Такие органы, сходные по общему плану строения и происхождения, называют *гомологичными* или *гомологами* (греч. *homologia* — «соответствие», «согласие»).

Для доказательства эволюции используют и *аналогию* в строении органов. *Аналогичными* (греч. *analogia* — «подобие», «сходство») называют те органы, которые выполняют сходные функции, имеют сходное строение, но различаются происхождением. Морфологическое сходство органов у организмов разных систематических групп обусловлено сходством вы-

Рис. 72. Примеры рудиментов *(1)* и атавизмов *(2)*

полняемых этими органами функций. Например, крылья птицы и бабочки, колючки растений и иглы животных.

Особенно показательными для доказательства эволюции служат такие примеры, как рудименты и атавизмы. *Рудименты* (лат. *rudimentum* — «зачаток») — это органы, утратившие своё первоначальное значение, но сохранившиеся в недоразвитом виде. Например, у человека — это копчик или хвостовые позвонки, аппендикс, третье веко у глаза (рис. 72, *1*). Рудименты имеются у всех особей вида. *Атавизмы* (лат. *atavus* — «предок») — это появление у отдельных организмов данного вида признаков, которые существовали у отдалённых предков, но были утрачены в процессе эволюции (рис. 72, *2*). Например, у человека — избыточный волосяной покров лица, хвостатость, многососковость.

Имеющиеся в настоящее время доказательства позволяют с большой степенью точности восстановить ход эволюционного процесса на любых уровнях выше вида и выделить общие, характерные для большинства групп особенности их исторического развития.

1. В чём сходство процессов микроэволюции и макроэволюции?
2. Почему вид называют качественным этапом эволюции?
3. Какие систематические категории отражают приведённые названия животных: *домовая мышь; грызуны; млекопитающие; мышиные; хордовые; эукариоты; животные; мышь.*
4. Каким образом рудименты и атавизмы доказывают ход эволюции?

§ 40

Основные направления эволюции

Вспомните

- особенности строения паразитических червей;
- главное отличие цветковых растений от голосеменных.

Прогресс и регресс в живом мире. В процессе эволюции на Земле возникло огромное разнообразие видов и надвидовых групп. Все они в этом процессе приобретают специальные приспособления к условиям существования. Изменения условий окружающей среды часто приводят к исчезновению у видов одних и появлению других свойств, обеспечивающих лучшее приспособление к жизни, а следовательно, бóльшую выживаемость, увеличение численности организмов и их более широкое распространение.

Возрастание приспособленности организмов к окружающей среде, сопровождающееся увеличением численности и более широким распростра-

нением вида, называют ***биологическим прогрессом*** (лат. *progressus* — «движение вперёд»). В настоящее время биологический прогресс наблюдается у покрытосеменных растений, а среди животных — у насекомых, костистых рыб, птиц и млекопитающих.

Снижение приспособленности организмов к условиям среды, сопровождающееся уменьшением численности и сужением области распространения, называется ***биологическим регрессом*** (лат. *regressus* — «возвращение», «движение назад»). Биологический регресс переживают группы, не сумевшие приспособиться к изменениям условий среды и не выдержавшие конкуренции с другими группами, например носороги, речные дельфины.

Изучение особенностей эволюции крупных надвидовых групп (макроэволюции) позволило выделить *три главных направления*, которые ведут к биологическому прогрессу: ароморфоз, идиоадаптацию, общую дегенерацию.

Идея о возможных путях достижения биологического прогресса в процессе эволюции была сформулирована российским учёным-эволюционистом А.Н. Северцовым в 1925 г.

Алексей Николаевич Северцов (1866–1936)

Направления эволюции. ***Ароморфоз*** (греч. *airo* — «поднимаю» и *morphosis* — «образец», «форма»), или *морфофизиологический прогресс*, имеет большое значение для организма в целом и всегда ведёт к биологическому прогрессу. По А.Н. Северцову, ароморфоз характеризует возникновение в ходе эволюции таких признаков, которые повышают общий уровень развития всех свойств организмов. Ароморфозы дают организмам бóльшие преимущества в борьбе за существование и открывают новые возможности в использовании условий внешней среды (освоение новых, прежде недоступных источников питания и новых местообитаний).

В эволюции живых организмов можно выделить несколько крупных ароморфозов: возникновение фотосинтеза, появление многоклеточности, полового размножения, формирование семени, цветка, приобретение постоянной температуры тела, появление головного мозга.

Ароморфозы — это крупные эволюционные преобразования в строении и функциях организмов, обеспечивающие их лучшую приспособляемость к новым условиям существования.

Формирование ароморфоза — очень длительный процесс, происходящий на основе наследственной изменчивости и естественного отбора. По

мнению А.Н. Северцова, ароморфозы обеспечили возникновение новых классов, отделов и типов организмов.

Идиоадаптация (греч. *idios* — «особый», «своеобразный» и лат. *adaptatio* — «приспособление», «прилаживание») — ещё одно направление эволюции. Она характеризуется сменой частных приспособлений, но при этом общий уровень биологической организации группы не меняется.

Благодаря идиоадаптациям возникло большое разнообразие приспособительных форм организмов к определённому образу жизни в конкретных условиях среды. Идиоадаптации обусловили специфичность признаков таких групп, как вид, род, семейство.

Идиоадаптации выражают частные способы биологического прогресса, но как бы лежащие в «одной плоскости». Ярким примером идиоадаптации на уровне отдела могут служить покрытосеменные растения, представленные множеством различных жизненных форм (деревья, кустарники, травы), различающиеся способами распространения семян, опыления и другими приспособлениями.

Примером идиоадаптации на уровне семейства может служить разнообразие приспособлений дарвиновых вьюрков, обитающих на островах Галапагосского архипелага. Все виды дарвиновых вьюрков имеют сходный уровень организации, но, находясь в различных условиях отдельных островов, приобрели там совершенно разные приспособления — они поразному размещают свои укрытия, строят гнёзда и имеют различные способы добывания пищи (рис. 73).

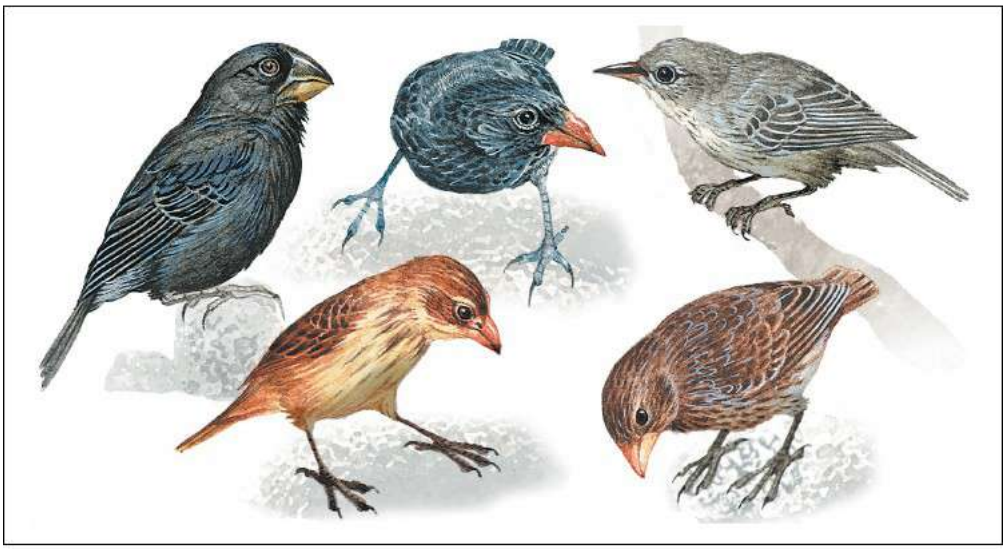


Рис. 73. Разнообразие дарвиновых вьюрков на островах Галапагосского архипелага — пример идиоадаптации

Общая дегенерация (лат. *degenero* — «вырождаюсь») — третье направление эволюции, связанное с упрощением строения и образа жизни организмов в результате приспособления к более простым условиям существования.

Примером могут служить изменения в строении животных, произошедшие при переходе к неподвижному, сидячему образу жизни и при паразитизме.

Переход к паразитическому образу жизни у многих организмов сопровождается резким упрощением ряда органов и даже полной потерей некоторых из них. Так, растение *повилика (Cuscuta europaea)*, паразитирующее на многих цветковых растениях, утратило способность к фотосинтезу. Потерей органов пищеварения характеризуются многие черви-паразиты, приспособившиеся к жизни в кишечнике животных и человека: например, *свиной цепень* — паразит человека, не имеющий собственного кишечника.

Упрощение строения при соответствующем образе жизни организмов (например, при паразитизме) часто обеспечивает процветание группе. Благодаря общей дегенерации облегчается её вхождение в новую адаптивную среду. Упрощение следует рассматривать как приобретение новых признаков, делающих возможным такой переход.

Сравнение основных направлений эволюции в достижении биологического прогресса представлено в таблице 4.

Таблица 4

Сравнение основных направлений эволюции в достижении биологического прогресса

№ п/п	Признаки направления эволюции	Ароморфоз	Идиоадаптация	Общая дегенерация
1	Преобразования в свойствах организмов	Усложнение строения и функций общего характера	Появление частных приспособлений к особым условиям среды	Упрощение как приспособление к более простым условиям среды
2	Состояние общей структуры свойств организмов	Существенное повышение общего уровня организации	Сохранение прежнего уровня организации	Некоторое понижение уровня организации

№ п/п	Признаки направления эволюции	Ароморфоз	Идиоадаптация	Общая дегенерация
3	Характер эволюционных действий	Выход в другую, качественно иную адаптивную зону действий	Большое разнообразие в пределах одной плоскости адаптивной зоны действий	В пределах одной адаптивной зоны действий, иногда выход в другую зону
4	Скорость возникновения изменений	Исторически относительно быстрый, часто скачкообразный процесс возникновения новых свойств	Медленный, постепенный процесс возникновения новых свойств	Медленный, постепенный процесс возникновения новых свойств
5	Проявление на уровне изменений таксонов	Не ниже класса, а также в пределах отделов и типов	В пределах семейства, рода и вида	В пределах семейства, рода и вида
6	Эффективность взаимоотношений со средой	Увеличение числа групп высокого и низкого таксономического ранга, расширение ареала, освоение новых ресурсов питания и обитания, прежде недоступных	Увеличение многообразия адаптаций у видов и популяций; охват большого разнообразия условий природной среды	Появление многообразия адаптаций, направленных на выживание, размножение, «заражение» хозяина (у паразитов), расселение (у сидячих форм)
7	Примеры	Возникновение фотосинтеза, эукариотической клетки; появление многоклеточности, трубчатого типа	Покровительственная окраска животных, половой диморфизм, ластовидные конечности моржа и тюленей;	Утрата пищеварительной системы у некоторых паразитических червей; утрата органов движения у си-

№ п/п	Признаки направления эволюции	Ароморфоз	Идиоадаптация	Общая дегенерация
		нервной системы у хордовых, четырёхкамерного сердца; возникновение семени, цветка	приспособление к опылению, распространению семян, плодов	дячих форм; утрата корней и листьев, способности к фотосинтезу у раффлезии, повилики

Соотношение направлений эволюции. Три основных направления эволюции лишь в учебных целях рассматриваются по отдельности. На самом же деле в природе эти процессы идут непрерывно и одновременно, сочетаясь между собой или сменяя друг друга. Обычно ароморфозы знаменуют собой новые направления и этапы в развитии живого мира. Затем эволюция идёт по пути идиоадаптации или дегенерации, обеспечивая существование групп организмов в новой среде. По истечении некоторого времени весь этот процесс может многократно повториться, увеличивая многообразие форм организмов и их групп.

Взаимоотношения трёх основных направлений эволюции, их чередование А.Н. Северцов изобразил в виде схемы (рис. 74).

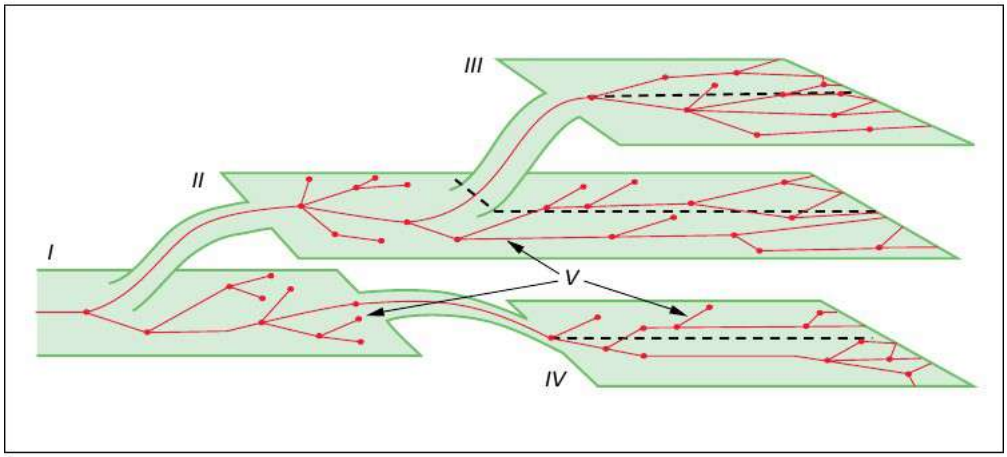


Рис. 74. Схема основных путей биологического прогресса: *I* — исходный уровень биологической организации группы; *II* и *III* — ароморфозы; *IV* — общая дегенерация; *V* — различные идиоадаптации (разветвления на плоскостях)

1. В чём сходство и различия ароморфоза и дегенерации?
2. Какую эволюционную роль играют ароморфозы и идиоадаптации?
3. Замените выделенные слова в утверждениях соответствующим термином.

- *Адаптации широкого значения, полезные организмам в самых разнообразных условиях среды,* повышают общую жизнестойкость организмов.
- *Частные приспособления организмов к определённому образу жизни в конкретных условиях внешней среды* обусловливают появление в процессе эволюции разнообразия форм организмов.
- *Упрощение строения организмов путём утраты отдельных органов* обеспечивает виду возможность вхождения в новую среду.

§ 41

Примеры эволюционных преобразований живых организмов

Вспомните

- что представляет собой ароморфоз;
- что такое идиоадаптация.

Эволюция — длительный процесс. Возникновение новых видов требует нескольких тысяч или десятков тысяч лет эволюционного развития, а формирование более высоких таксонов (отрядов, классов) занимает десятки и сотни миллионов лет.

Например, вид *белый медведь* произошёл от общего с *бурым медведем* предка (рис. 75) около 600 тыс. лет назад, а свой современный облик приобрёл примерно 100–120 тыс. лет назад. Вероятно, появление белого медведя было связано с развитием оледенений в Северном полушарии, когда значительная часть морей и океанов оказалась покрытой льдами и подверглась воздействию очень низких температур.

Белый медведь, в отличие от своих ближайших сородичей — бурых медведей, питается почти исключительно мясной пищей, может очень долго (до 8 месяцев) голодать, в любое время года способен впадать в состояние оцепенения, похожее на спячку, а по остроте обоняния превосходит почти всех млекопитающих, что помогает ему среди льдов за несколько километров находить по запаху свою основную добычу — тюленей.

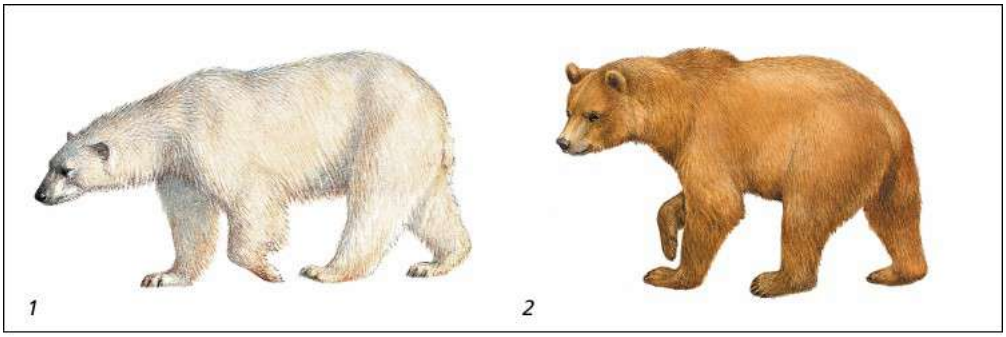


Рис. 75. Медведь: *1* — белый; *2* — бурый

Эволюционные изменения происходят одновременно на разных уровнях строения организма: на клеточном — улучшаются ферментативные свойства белков, тканевом и органном — появляются специализированные ткани для запасания жиров, витаминов и других веществ, повышается активность мышечной, нервной тканей, усиливается производительность дыхательной и кровеносной систем. Изменяются внешний вид всего организма, размеры его тела, поведение — подвижность, способы выслеживания, подкарауливания, захвата добычи и многое другое.

Эволюционные преобразования животных. В процессе длительной эволюции у животных произошли важные эволюционные преобразования. Рассмотрим на отдельных примерах эволюцию систем органов позвоночных животных.

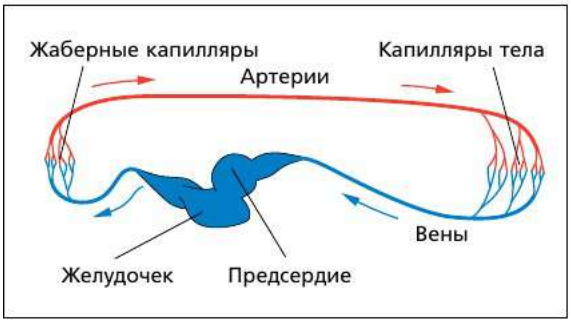


Рис. 76. Схема строения кровеносной системы рыб

Преобразования в дыхательной и кровеносной системах. У более древних групп (например, у хрящевых рыб) дыхание осуществляется жабрами, с помощью которых кислород из воды проникает в кровь рыбы. У таких животных всего один круг кровообращения, сердце — двухкамерное, состоит из предсердия и желудочка (рис. 76). У некоторых костных рыб наряду с жабрами появляются дополнительные дыхательные органы — воздушные мешки, являющиеся выростами пищевода и функционирующие как лёгкие (например, у двоякодышащих рыб).

У земноводных (или амфибий), этих первых наземных позвоночных, в процессе эволюции появились настоящие лёгкие. Жабры имеются у всех

внешней среды, — к развитию эмбрионов в яйце с прочной скорлупой или в теле самки; от откладывания огромного количества икринок — к рождению нескольких или одного детёныша, о котором родители заботятся, а некоторые даже выкармливают своё потомство (например, млекопитающие).

Изучая эволюцию органов и систем органов животных, можно проследить общие тенденции, свойственные разным систематическим группам, как закономерность в сторону усложнения строения и лучшей приспособленности к условиям среды.

Эволюционные преобразования у растений. Изучая эволюцию растений, мы также можем оценить роль ароморфозов и идиоадаптаций. Например, важнейшим событием стало *приобретение хлоропластов* с *хлорофиллом* далёкими предками растений — одноклеточными зелёными водорослями. Появление *фотосинтеза* повлияло на все дальнейшие изменения не только растений, но и других живых организмов. *Многоклеточность* и *выход растений на сушу* резко увеличили биологическое разнообразие растений и позволили им заселить все среды жизни на Земле. С выходом на сушу у растений появились корень и побег.

Преобразования в размножении шли в направлении от бесполого размножения путём деления клеток надвое и образования гаплоидных зооспор (например, водоросль улотрикс) к появлению многоклеточных спорангиев у высших споровых растений. У более древних наземных растений (мхи, папоротники, хвощи, плауны) размножение и распространение осуществляется с помощью спор — микроскопических структур, состоящих всего из одной клетки с плотной оболочкой, ядром и цитоплазмой, содержащей крайне малое количество питательных веществ. У голосеменных впервые в эволюции растений появляется *семя*, которое может переноситься ветром, водой и животными на большие расстояния. Семя — это многоклеточная структура, в которой уже присутствует зародыш растения и запасено большое количество питательных веществ. У покрытосеменных растений произошло значительное усложнение строения семени.

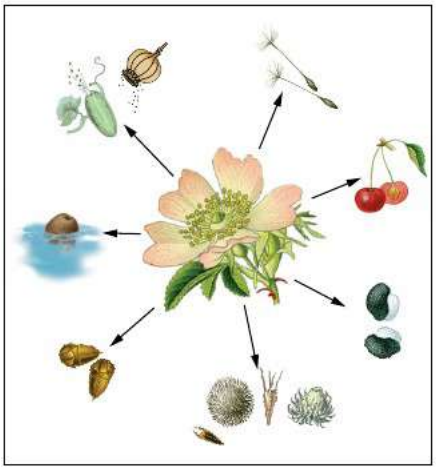


Рис. 78. Идиоадаптации у растений

Появление семени, цветка и плода — это примеры ароморфозов. Огромное разнообразие цветков у растений, способов опыления (насекомыми, птицами, летучими мышами, ветром), многообразие плодов и способов их распространения (животными, ветром, водой и др.) — это примеры идиоадаптаций (рис. 78).

1

2

Рис. 79. Раффлезия *(1)*, повилика *(2)*

Некоторые цветковые растения утратили листья и способность к фотосинтезу, перейдя к паразитическому образу жизни (повилика, раффлезия, заразиха, подъельник), другие вернулись в водную среду обитания, потеряв при этом опорные ткани, сосуды (элодея, кувшинка, виктория), корни (роголистник). Это примеры дегенераций (рис. 79). Однако все они способствовали биологическому прогрессу царства растений и привели к появлению новых видов, родов и семейств.

Эволюционные преобразования живых организмов за миллионы лет привели к увеличению их биологического разнообразия и к заселению всех, даже самых экстремальных, мест обитания на нашей планете.

?

1. Как шла эволюция растений на Земле?
2. Почему в эволюции животных так высока роль дыхательной системы?
3. Назовите примеры дегенерации у животных.
4. Укажите, к каким направлениям эволюции следует отнести появление микоризы (грибокорня) для гриба и для растений.

§ 42

Основные закономерности эволюции

Вспомните

- как действует естественный отбор;
- какими бывают адаптации.

Биологическая эволюция — это процесс постоянного и направленного естественным отбором изменения форм организмов на Земле, обеспечива-

ющий их приспособленность к условиям окружающей среды. Достигается такая приспособленность путём отбора из множества случайных изменений таких, которые облегчают выживание организмов в конкретных условиях среды.

Эволюция — это исторический процесс развития живой природы, который зависит от взаимодействия многих внешних и внутренних факторов при ведущей роли естественного отбора.

Путём видообразования возникло всё многообразие живых организмов. Вместе с тем видообразование можно рассматривать как процесс более глубокого и эффективного использования окружающей среды с помощью конкретных приспособлений у видов.

Изучение хода развития разных групп при различных условиях внешней среды позволяет выделить несколько закономерностей эволюции, характеризующих общую направленность развития живой природы.

Закономерности эволюции.

1. Эволюция имеет необратимый характер. Организмы, возникшие в ходе эволюции, не могут вернуться к прежнему состоянию их предков. И это понятно, так как каждое эволюционное изменение представляет собой комбинацию многих независимо возникающих и подхваченных отбором перестроек в генотипе. Потому возвращение к первоначальному (исходному) типу невозможно. Надо также учесть, что эволюционируют не особи, а популяции, отбираются не отдельные признаки, а комплексы признаков и контролируются отбором целые генные комплексы. Поэтому трудно ожидать, чтобы ещё раз мог случайно повториться такой же комплекс генов, который был в исходном состоянии группы. Эволюция — это *необратимый процесс* исторического развития органического мира. Необратимость эволюции отражает неповторимость исторического процесса развития жизни, характерной чертой которого является не возврат к старому, а образование новых качеств живого.

2. В процессе эволюции происходит прогрессивное усложнение форм жизни. В прогрессивном усложнении органического мира проявляется общее направление (тенденция) эволюционного процесса. Оно определяется многократной дивергенцией (расхождением) и вымиранием многих ветвей потомков при сохранении какой-то единственной ветви, давшей начало новому семейству, его родам и видам, лучше приспособившимся к жизни в пределах их среды обитания.

3. Эволюция — процесс *непрограммированного развития* живой природы. В процессе эволюции отсутствует целенаправленность. Движение её полностью зависит от естественного отбора.

4. В эволюции проявляется относительность приспособленности видов к среде обитания. Приспособленность — это совокупность морфологических, физиологических, поведенческих и других особенностей вида, обе-

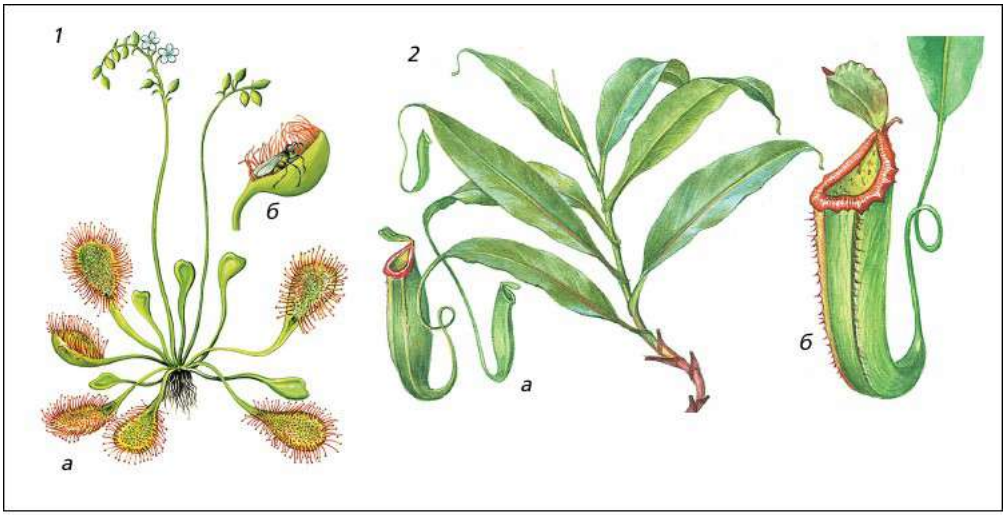


Рис. 80. Росянка *(1)* и непентес *(2)*: *а* — общий вид растения; *б* — ловчие листья, обеспечивающие растение питательными веществами при переваривании пойманных насекомых

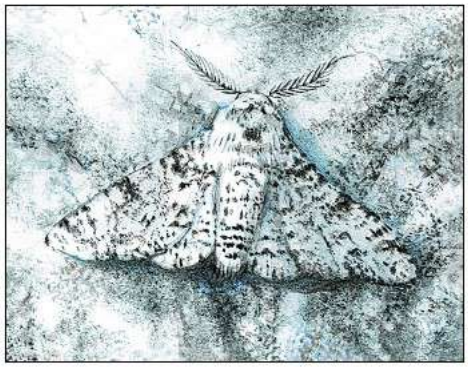
спечивающих его жизнедеятельность в определённых условиях внешней среды. Различают приспособления к жизни в обширной зоне среды (*общие адаптации*), например наличие конечностей у наземных позвоночных, и приспособления к определённому образу жизни (*частные адаптации*), например роющие конечности крота, конечности копытных, ловчие листья у *росянки круглолистной* и *непентеса* (рис. 80).

Совокупность адаптаций придаёт строению и жизнедеятельности организмов черты целесообразности, так как все адаптации возникают в процессе эволюции под действием естественного отбора, что доказали Ч. Дарвин и многие учёные-эволюционисты нашего времени (рис. 81). Достигнутые конкретные адаптации обычно бывают относительными, так как в данной среде всегда возможны и другие, более совершенные адаптации.

Любые адаптации вида и надвидовых групп могут возникать лишь при наличии у организмов определённых генетических свойств, формирующихся в микроэволюционных процессах. Процесс эволюции любого масштаба всегда осуществляется с помощью микроэволюции и направляется естественным отбором, создающим приспособления к определённой конкретной среде, а не на все «случаи жизни», поскольку приспособленность всегда относительна.

Эволюция — это необратимый процесс исторического развития организмов, идущий на нашей планете с момента возникновения на ней жизни.

1



2

Рис. 81. Примеры адаптаций, позволяющих животным быть малозаметными (покровительственная окраска): *1* — гага на гнезде; *2* — бабочка берёзовая пяденица на коре берёзы

1. Какова роль естественного отбора в эволюции?
2. Докажите, что эволюция носит необратимый характер.
3. От чего зависит появление приспособленности у организмов?
4. Какова общая тенденция эволюционного процесса?

Лабораторная работа № 5

Тема: Приспособленность организмов к среде обитания

Цель работы: доказать, что приспособленность — общее свойство организмов.

Оборудование: коллекция плодов и семян (клёна, ели, череды); коллекция конечностей насекомых (жука-плавунца, жука-навозника, пчелы, бабочки, кузнечика); фотографии или рисунки животных (орла, цапли, синицы, щегла); живые комнатные растения (цереус, монстера, сансевьера, пеларгония); ручная лупа.

Ход работы

Задание 1

1. Рассмотрите плоды и семена разных растений. Определите способы их распространения.
2. Определите, какие приспособительные признаки обеспечивают распространение семян с помощью ветра (анемохорию) и распространение семян с помощью животных (зоохорию).

3. Свои наблюдения и выводы запишите в таблицу по образцу:

Изучаемый объект	Приспособительные признаки	Проявление относительного характера приспособленности
Плоды клёна		
Семена ели		
Плоды череды		
Вывод:		

Задание 2

1. Рассмотрите с помощью лупы строение конечностей насекомых. Найдите у них черты сходства и различия.

2. Определите приспособительные особенности конечностей насекомых в связи с выполняемыми ими функциями.

3. Свои наблюдения и выводы запишите в таблицу (по образцу в задании 1).

Задание 3

Пользуясь фотографиями или рисунками животных (орла, цапли, синицы, щегла), определите черты приспособленности к способу добывания пищи в строении клюва птиц. Наблюдения и выводы запишите в таблицу (по образцу в задании 1).

Задание 4

У комнатных растений, имеющихся в кабинете биологии, определите черты приспособленности к условиям влажности, выработавшиеся в процессе эволюции. Определите соответствующие морфофизиологические приспособительные свойства у данных растений. Наблюдения и выводы запишите в таблицу (по образцу в задании 1).

Примечание. По выбору учителя в данной лабораторной работе ученики могут выполнить одно или несколько любых заданий.

§ 43

Человек — представитель животного мира

Вспомните

- известных вам представителей млекопитающих;
- какие виды млекопитающих включает отряд Приматы.

Вид *Человек разумный*, как и все виды живых организмов, сформировался в результате длительного процесса эволюции. Чтобы лучше понять, как это произошло, вначале надо рассмотреть эволюцию отряда приматов, относящегося к царству Животные.

Эволюция приматов. Человек как один из представителей млекопитающих относится к отряду приматов. Первые млекопитающие возникли в начале мезозоя, в триасовом периоде, 170–160 млн лет назад. Их предками были, по-видимому, зверозубые пресмыкающиеся — териодонты. Позже (в меловом периоде мезозоя) сформировались плацентарные млекопитающие, давшие начало большинству отрядов этого класса. Приматы выделились как отряд млекопитающих в конце мелового периода около 70 млн лет назад. Их предками были примитивные насекомоядные млекопитающие, сходные с современными тупайями. Одним из наиболее древних приматоподобных млекопитающих некоторые учёные считают *плезиадаписа*, обитавшего на территории Северной Америки и Европы (рис. 82, *1*).

Около 60 млн лет назад приматы разделились на две группы: одна из них представлена так называемыми низшими приматами — полуобезьянами — лемурами и лори, в другую входят все остальные приматы, их называют обезьянами. Наиболее древним представителем обезьян является *долгопят* (рис. 82, *2*). Долгое время долгопята относили к полуобезьянам,

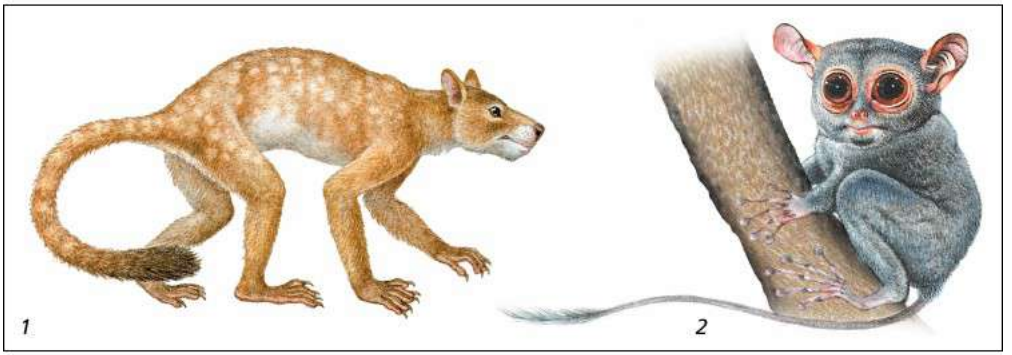


Рис. 82. Плезиадапис *(1)* и филиппинский долгопят *(2)*

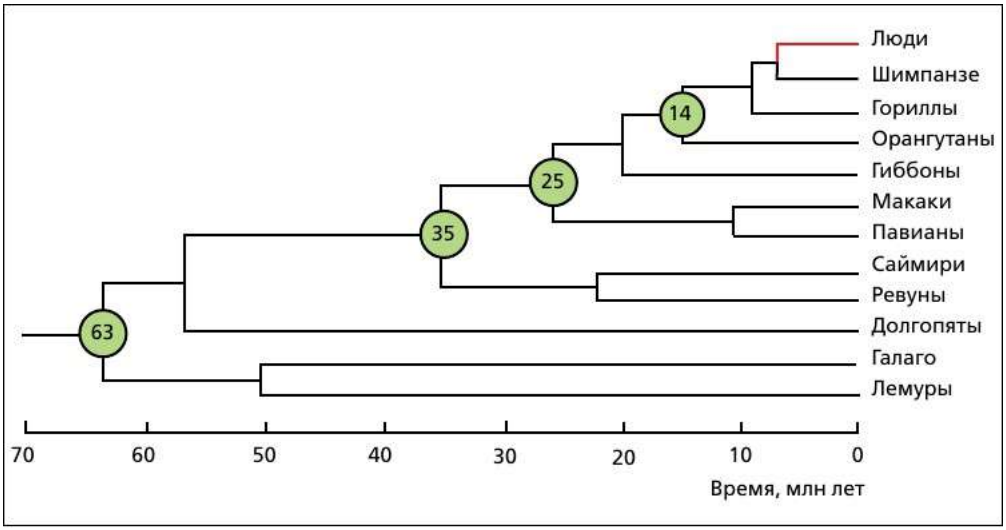


Рис. 83. Эволюционный путь развития приматов

но анализ его ДНК в сравнении с ДНК приматов показал, что долгопят более близок к обезьянам.

Сегодня долгопяты изредка встречаются в тропических лесах Индокитая, на островах Малайского архипелага и на Филиппинах. Это мелкие древесные зверьки, ведущие ночной образ жизни и питающиеся животной пищей — насекомыми, мелкими ящерицами, змеями и птицами.

Высшие приматы. Около 35–30 млн лет назад небольшая группа обезьян переселилась в Южную Америку и прошла дальнейшую эволюцию изолированно от других приматов. Учёные называют эту группу «обезьянами Нового Света» или *широконосыми обезьянами*. Оставшиеся в Африке и Азии обезьяны (их называют «обезьянами Старого Света» или *узконосыми*) дали начало современным группам: мартышкообразным (мартышки, павианы, макаки, носачи, лангуры), гиббоновым (гиббоны, сиаманги), человекообразным обезьянам (орангутаны, гориллы, шимпанзе) и человеку (рис. 83).

Гиббоновых рассматривают как отдельное семейство малых человекообразных обезьян, тогда как орангутаны, гориллы и шимпанзе объединяются вместе с человеком в семейство *Гоминиды*. Это семейство включает два подсемейства — Понгины, в него входят орангутаны, и Гоминины — гориллы, шимпанзе и люди (рис. 84).

Человекообразные обезьяны впервые появились в середине кайнозоя — в олигоцене (около 30 млн лет назад). Среди их предков наиболее известны *проплиопитеки*, давшие начало гиббонам и *дриопитекам*. Дриопитеки жили 18–17 млн лет назад и вымерли около 8 млн лет назад.

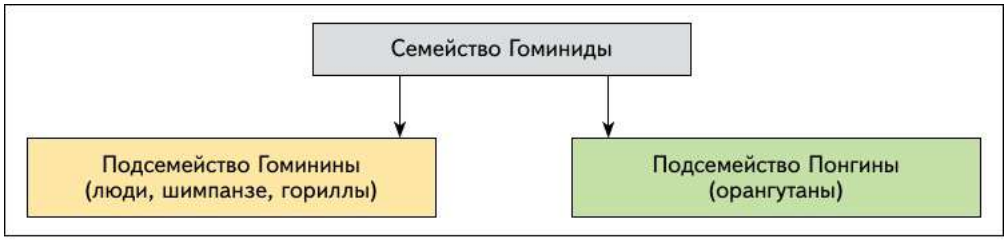


Рис. 84. Гоминины и Понгины в семействе Гоминиды

Их ископаемые останки найдены в Африке, Европе и Азии. Дриопитеки обитали в основном на деревьях, питались, вероятно, ягодами и фруктами, могли иногда передвигаться на задних конечностях, подолгу сидеть выпрямившись на толстых ветвях.

Дриопитек по строению скелета сходен с гориллой, шимпанзе и человеком.

15–14 млн лет назад род Дриопитеки дал начало двум эволюционным ветвям, одна из которых привела к появлению орангутана, а другая — гориллы, шимпанзе и человека. Русский учёный-антрополог Я.Я. Рогинский в конце 70-х гг. XX в., характеризуя особенности древесного образа жизни дриопитеков, отмечал его большое влияние на появление у них свойств, которые в процессе эволюции могли привести к увеличению массы головного мозга и усложнению его структуры. Это позволило дриопитекам дать начало высокоразвитым формам обезьян.

Ближайшие родичи современного человека — обезьяны шимпанзе (обыкновенный и карликовый). Общий предок шимпанзе и человека обитал в Африке около 7 млн лет назад.

Таким образом, современные человекообразные обезьяны не являются предками человека, но происходят от общих с ним, уже вымерших предков. От них одна из ветвей эволюционного развития привела к появлению человека, другие — к появлению человекообразных обезьян. Это подтверждают многочисленные археологические находки.

1. В чём состоят особенности дриопитеков как предков человека?
2. Какие обезьяны относятся к гоминидам?
3. Какие из перечисленных признаков характеризуют людей:
   а) волосяной покров тела;
   б) передвижение на двух ногах;
   в) противостоящий большой палец конечностей;
   г) увеличенный объём головного мозга;
   д) полудревесный образ жизни?

§ 44

Эволюционное происхождение человека

Вспомните

- что человек является представителем животного мира;
- с какими животными человек имеет сходство в своём строении.

Накопление фактов о происхождении человека. Эволюция человека, или ***антропогенез*** (греч. *anthropos* — «человек» и *genesis* — «происхождение», «возникновение»), — исторический процесс становления биологического вида *Человек разумный* (*Homo sapiens*). Этот процесс качественно отличался от эволюции других видов организмов, так как в нём действовали не только биологические факторы (наследственная изменчивость, борьба за существование и естественный отбор), но и социальные (трудовая деятельность, общественный образ жизни, речь и мышление).

Происхождение человека — один из основных мировоззренческих вопросов с древнейших времён. Попытки понять и объяснить, как возник человек, находим в мифологии всех племён и народов. В легендах и сказаниях, отражающих представления людей о мире, всегда отмечалось, что человек сотворён некими сверхъестественными силами или каким-то божеством по своему образу и подобию.

Древние легенды возникновение первых людей всегда связывали с реальными природными и социально-экономическими условиями. Например, по мифологии жителей тропических стран, человек произошёл из влажной земли при участии солнечного тепла. Северные народы считали своими предками оленя, медведя, а занимавшиеся рыбным промыслом полагали, что их род начинается от рыб и моржей. Аборигены Австралии, обитающие на территории жарких сухих пустынь, своими прародителями называют ящериц и птиц. В Древнем Египте верили, что бог Хнум вылепил первого человека из глины на гончарном круге (рис. 85).

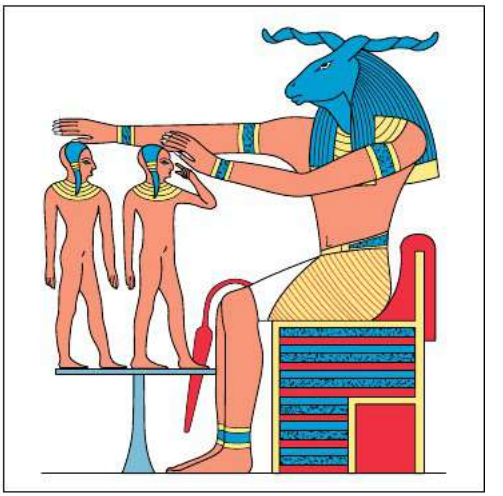


Рис. 85. Бог Хнум на гончарном круге лепит из глины первых людей

Похожая легенда существовала и в Древней Греции. Бог Зевс из глины слепил первых людей, а бо-

гиня мудрости Афина одушевила их, вдохнув в них жизнь. Как более поздний вариант этой легенды выступает библейское предание о появлении первого человека — Адама, которого Бог сотворил из «красной земли», т. е. из глины. Затем из ребра первого человека была создана женщина — Ева, а от Адама и Евы произошёл весь род человеческий. Христианская церковь до сих пор очень ревностно сохраняет этот догмат о происхождении людей. Однако уже первые исследования морфофизиологических свойств человека убеждали естествоиспытателей в сходстве человека с высокоорганизованными существами животного мира, особенно с обезьянами.

С развитием науки накапливались факты, подтверждавшие сходство в строении организмов человека и животных. Эти взгляды укрепились, когда в начале XVII в. появились сообщения путешественников, встречавших в природе человекообразных обезьян. К. Линней в системе живых форм впервые поместил человека в одну группу с приматами. В первом отечественном учебнике для школы, созданном В. Ф. Зуевым в 1786 г., изучение человека как живого существа тоже было включено в раздел животных, как близкого к обезьянам.

Опираясь на материалы сравнительной анатомии, эмбриологии и немногочисленные тогда данные палеонтологии, Ч. Дарвин в своём труде «Происхождение человека и половой отбор» (1871) убедительно доказал родство человека с человекообразными обезьянами и высказал принципиально важное положение: ни одна из ныне живущих обезьян не может считаться предком человека, а представляет собой как бы его «двоюродного брата».

Движущей силой эволюции человека как биологического вида Дарвин считал естественный отбор, который сформировал вертикальное положение тела, прямохождение и освобождение рук. Также большое значение в истории становления человека Дарвин придавал развитости нервной системы и общественному образу жизни людей. Однако, показав родство человека и человекообразных обезьян, наметив направление исторического развития человека, Дарвин не смог вскрыть ведущий фактор антропогенеза, а следовательно, и специфику эволюции человека.

Специфика антропогенеза заключается в действии социальных факторов: общественного образа жизни, трудовой деятельности, речи и мышления человека.

Когда Дарвин создавал свой труд, наука располагала ещё очень малым количеством фактов об ископаемых предках человека. Позднее были собраны многочисленные доказательства происхождения человека от животных.

Доказательства родства человека с животными. В скелете человека и животных (скелет головы, туловища, конечностей) имеются одни и те же кости, хотя они различаются по форме и степени развития (рис. 86).

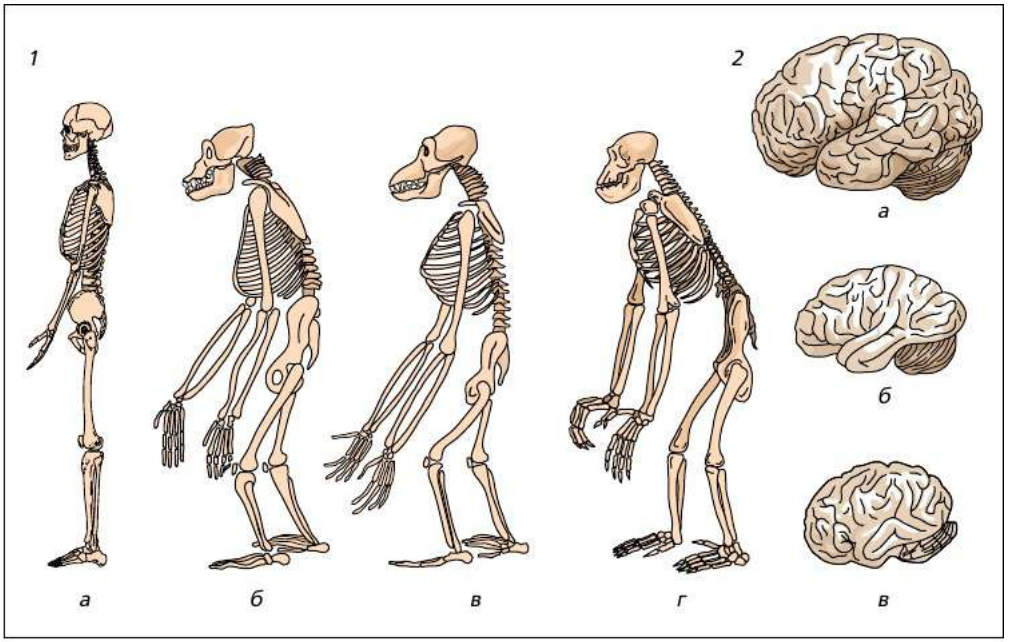


Рис. 86. Сходство человека и человекообразных обезьян:
1 — скелеты человека *(а)*, гориллы *(б)*, орангутана *(в)* и шимпанзе *(г)*;
2 — мозг человека *(а)*, орангутана *(б)* и шимпанзе *(в)*

Сходство наблюдается и во внутреннем строении, в развитии зародышей человека и животных. На ранних этапах развития зародыш человека трудно отличить от зародышей других позвоночных животных (см. рис. 71, 72, § 39).

Доказательств происхождения человека от животных и конкретно родства с человекообразными обезьянами (антропоидами) много. Одних только *рудиментов* насчитывают более 90. Однако между человеком и человекообразными обезьянами имеются и существенные различия.

Важнейшие особенности организма человека. Прямохождение отразилось на строении позвоночника (и позвонков), грудной клетки, таза, стопы, кисти, мускулатуры и расположении внутренних органов. Большие различия наблюдаются в строении черепа и объёме головного мозга человека и человекообразных обезьян. У человека большой мозговой отдел черепа и сравнительно малая лицевая часть, на нижней челюсти имеется подбородочный выступ. У человекообразных обезьян, наоборот, крупная лицевая часть черепа с сильными челюстями, а мозговая часть небольшая. В этом отражены отличительные *биологические свойства* вида *Человек разумный (Homo sapiens)*.

Особенно глубокие качественные отличия человека от животных проявляются в поведении и социальном (общественном) образе жизни людей.

Специфической особенностью человека является его сознание, целенаправленное создание и применение орудий труда. С их помощью человек производит то, что ему необходимо для жизни. Так он изменяет условия своего существования и ослабляет влияние внешней среды на организм и, следовательно, уменьшает воздействие естественного отбора. В этом отражаются отличительные *социальные свойства* вида *Человек разумный*.

Решающими факторами в формировании и развитии человека стали труд и трудовые отношения между членами общества, а также речь, которая обеспечивала общение между людьми. Под влиянием труда и речи формировались и развивались сознание и мышление человека. Так постепенно человечество смогло решать всё более сложные задачи своего существования, а с помощью трудовой деятельности достигло в итоге значительной независимости от природы.

Антропогенез обусловил уникальность человека, выражающуюся в единстве его биологической и социальной сущности.

1. Укажите черты сходства человека и человекообразных обезьян.
2. Назовите особенности строения тела, присущие только человеку.
3. В каждой строчке этого задания три термина определённым образом взаимосвязаны. Охарактеризуйте их и отметьте четвёртый, не имеющий к ним отношения.

- Шимпанзе, горилла, макака, орангутан.
- Стопа, кисть, рука, лапа.
- Труд, речь, сознание, раздражимость.

§ 45

Этапы эволюции человека

Вспомните

- чем человек отличается от обезьян;
- что такое антропогенез.

Австралопитеки. Непосредственными предшественниками рода *Человек (Homo)* считаются ***австралопитеки*** (лат. *australis* — «южный» и греч. *pithekos* — «обезьяна») — гоминиды, обитавшие в Африке в период от 6 до 1 млн лет назад. Изучение найденных останков показало, что австралопитеки занимали промежуточное положение между обезьянами и человеком. Они уже обладали способностью к прямохождению, имели зубы, очень сходные с человеческими. Объём их головного мозга достигал 550 см^3 — больше, чем у обезьян, но гораздо меньше, чем у человека (рис. 87).

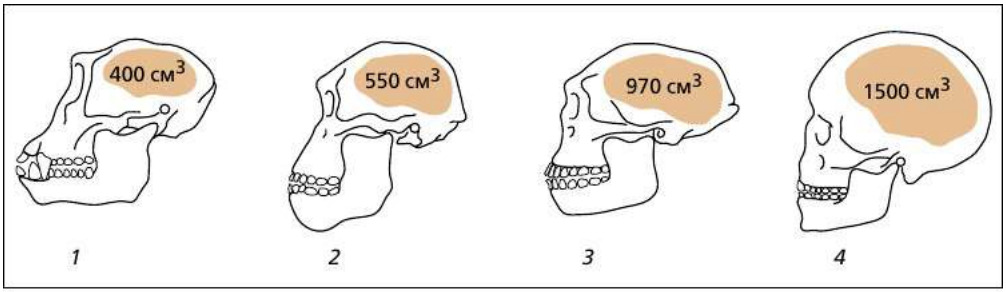


Рис. 87. Изменения строения черепа и объёма головного мозга в ряду от человекообразной обезьяны до человека: *1* — самка шимпанзе; *2* — австралопитек африканский (реконструкция); *3* — Человек выпрямленный (реконструкция); *4* — кроманьонец

Ископаемые останки более поздних австралопитеков (например, *австралопитека седиба — Australopithecus sediba*), живших примерно 2 млн лет назад, показали, что это были существа, способные стоять и передвигаться подобно человеку, ведущие стадный образ жизни.

Прямохождение является выдающимся эволюционным преобразованием, возникшим вследствие обитания на равнинной местности или на краю леса.

Главным следствием прямохождения стало развитие сводчатой стопы и освобождение верхних конечностей для хватания, держания и применения примитивных орудий (палка, камень) при добывании пищи. Грудная клетка становилась более широкой и уплощённой в спинно-брюшном направлении. Развитие хватательной кисти сопровождалось развитием мыслительной деятельности и увеличением размеров головного мозга.

Около 2,5 млн лет назад от одного из видов австралопитеков — *австралопитека афарского* (*Astralopithecus afarensis*) произошёл *Человек умелый* (*Homo habilis*) — первый представитель рода *Человек*.

Возможно, что именно с *Homo habilis* начинается история рода человеческого, или антропогенез.

Стадии антропогенеза. Наука располагает значительным числом палеоантропологических, археологических и геологических данных, позволяющих осветить ход антропогенеза. Их анализ даёт возможность выделить четыре стадии антропогенеза с определённым типом ископаемого человека, уровнем развития его материальной культуры и общественной организации. Перечисленные стадии носят условный характер, однако их применение упрощает обсуждение проблем антропогенеза.

1. *Человек умелый* — *Homo habilis*. В пищу он употреблял, кроме плодов и кореньев, мясо мелких животных, падаль. Для дробления костей и твёрдых плодов использовал специально заточенные камни (речную

гальку). Эти существа в течение большого промежутка времени существовали одновременно с австралопитеками, что подтверждается находками в Кении и Танзании.

2. *Архантропы,* *или* ***древнейшие люди*** (*Человек выпрямленный — Homo erectus: питекантроп, синантроп, гейдельбергский человек*). Появились около 1,5 млн лет назад, вымерли примерно 50 тыс. лет назад. Населяли преимущественно юг Азии, включая острова Индонезии. Объём мозга составлял до 1100 см^3. Архантропы ходили на двух ногах, имели прямой торс. Поэтому архантропа называют *Человеком выпрямленным* (*Homo erectus*).

Стадия архантропов представлена их останками, найденными во многих географических районах Земли.

На острове Ява были обнаружены останки ископаемого существа, названного *питекантропом* (*яванским человеком*), около Пекина — останки существа, названного *синантропом* (*китайским человеком*). На территории Германии, у города Гейдельберг, найдены останки существа, названного *гейдельбергским человеком*. Сходные останки обнаружены в Алжире, Венгрии, Марокко и других географических районах.

На этой стадии шло активное расселение архантропов по Земле, вплоть до холодных её областей. Чтобы выдержать суровые зимы, потребовалась выработка особых форм поведения и технических навыков. Оказалось, что головной мозг *Homo erectus* позволял решать такие проблемы, как поддержание огня, изготовление одежды, разделка мяса, запасание пищи, совместное проживание в пещерах, коллективная охота.

От древнейшего человека (архантропа) произошёл *древний человек — палеоантроп*.

Популяции *Homo erectus* были прямыми предками ранних представителей палеоантропов.

3. *Палеоантропы,* *или* ***древние люди*** (***неандертальцы*** — *Homo neanderthalensis*). Жили 150–30 тыс. лет назад. Населяли преимущественно Европу, но отдельные группы доходили до Алтая. Объём мозга был такой же, как у современных людей, или даже больше, однако неандертальцы отличались более низким лбом, выступающим затылком, мощными надбровными дугами.

Время жизни неандертальцев совпало с периодом очередного наступления ледников. Они строили себе жилища, одевались в шкуры зверей, спасаясь от холода, изготавливали из кремня рубила, иглы, остроконечники и скрёбла, умели добывать огонь и использовать его для приготовления пищи. Объём их мозга достигал 1200–1600 см^3. Особенностью строения их черепа были низкий скошенный лоб с надглазничным валиком, широкое лицо и крупные плоские зубы. Охотились коллективно на крупных животных. Вели первобытно-стадный образ жизни.

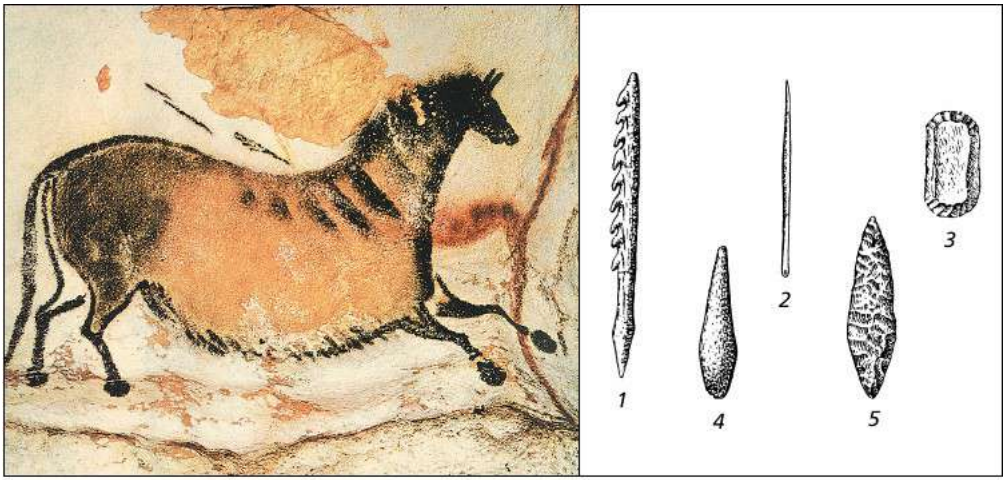


Рис. 88. Настенная живопись в пещере кроманьонца (слева) и его орудия труда: *1* — роговой гарпун; *2* — костяная игла; *3* — кремнёвый скребок; роговой *(4)* и кремнёвый *(5)* наконечники для дротика

Все эти преобразования не были чисто биологическими ароморфозами, как у других животных. Они во многом обусловлены созданием особой, культурной среды и сильнейшим действием *социальных факторов*. Среди них: развитие общественного образа жизни и применение накопленного жизненного опыта предков; трудовая деятельность и развитие руки как органа труда; возникновение речи и использование слов как средства общения и воспитания человека; развитие мыслительных способностей, стимулирующих совершенствование труда и речи; использование огня, что помогало отпугивать зверей, защищаться от холода, готовить пищу. Социальный труд и изготовление орудий труда обеспечили особый, *человеческий* путь развития вида, отличающийся общественными (социальными) отношениями, разделением труда, возникновением на этой основе торговли, искусства, религии, науки и отраслей промышленного производства.

Возникновение человека — это важнейшая веха в эволюции органического мира, по качеству не имеющая себе равного во всей истории Земли.

Биосоциальная сущность человека. Возникновение неоантропа (*Человека разумного*) произошло не в результате простого накопления новых свойств у организма, а параллельно с процессом становления человеческого общества, причём социальное существование (совместная жизнь, общение, речь, труд, коллективная деятельность) выступало одним из главнейших факторов антропогенеза. В этих условиях на Земле появилось качественно новое существо с биосоциальными свойствами, которое творчески преобразует мир с помощью своих умственных способностей и обществен-

ного производства. Вне общества немыслимо становление *Человека разумного* как особого вида. Видовая устойчивость неоантропа как раз и обусловлена «превращением» человека в представителя человечества.

Овладев культурой изготовления совершенных орудий, воспроизводства продуктов питания, устройства жилищ, создания одежды, *Человек разумный*, в отличие от всех других видов организмов, стал особым, биосоциальным существом, обезопасил себя от неблагоприятных природных условий созданием особой — культурной среды. В результате этого человек стал меньше испытывать на себе неблагоприятные условия среды, и его эволюция в настоящее время идёт в пределах уже сформировавшегося вида в основном по пути полиморфизма морфофизиологических признаков в разных группах и популяциях человека.

С возникновением человеческого общества на стадии *Homo sapiens* творческая роль естественного отбора утратила для человека своё ведущее значение.

1. Где возник человек умелый?
2. Наличие каких признаков, кроме прямохождения, обеспечило эволюционное преобразование древних предков современного человека?
3. Почему одного из предков современного человека назвали *Человеком умелым*?
4. Когда естественный отбор перестал быть ведущим фактором в эволюции человека?
5. Охарактеризуйте социальные факторы эволюции человека.

§ 46

Человеческие расы, их родство и происхождение

Вспомните

- как природные условия повлияли на внешний облик человека;
- какое влияние оказали труд и общественные отношения на социальную сущность человека.

Человек разумный — полиморфный вид. Более столетия различные экспедиции антропологов работают в различных уголках земного шара, изучая многообразие форм человека. Изучены племена в самых труднодоступных районах (в тропических лесах, пустынях, на высокогорьях, остро-

1

2

3

Рис. 89. Типичные представители рас: негроидной *(1)*, монголоидной *(2)*, европеоидной *(3)*

вах). В результате современное человечество в морфологическом и физиологическом отношениях исследовано, пожалуй, лучше, чем любой другой биологический вид. Исследования выявили исключительное разнообразие физических и генотипических особенностей человеческих популяций и их тонкую приспособленность к условиям жизни. Исследования показали также, что, хотя современное человечество принадлежит к одному единому виду *Homo sapiens*, этот вид является *полиморфным*, так как образует несколько различных внутривидовых групп, давно получивших название расы (рис. 89).

Раса (франц. *race* — «род», «порода», «племя») — это исторически сложившаяся внутривидовая группировка, состоящая из популяций *Человека разумного*, характеризующихся сходством морфофизиологических и психических свойств. Каждая раса отличается совокупностью наследственно обусловленных признаков. Среди них: цвет кожи, глаз, волос, особенности черепа и мягких частей лица, пропорции тела, рост и др.

Внешние особенности строения тела человека были основными критериями подразделения человечества на расы.

Современное человечество разделяют на три основные расы: негроидную, монголоидную и европеоидную.

Негроидная раса характеризуется тёмным цветом кожи, курчавыми, спирально закрученными волосами (на голове и теле), широким и мало выступающим носом, толстыми губами. К негроидной расе относятся негры Западной Африки, бушмены, пигмеи-негритосы, готтентоты, меланезийцы и аборигены Австралии. В негроидной расе выделяют две крупные ветви — африканскую и австралийскую. Группы австралийской ветви характеризуются, в отличие от африканской, волнистым типом волос.

Монголоидная раса отличается смуглой или светлой кожей, прямыми и достаточно жёсткими волосами, уплощённой формой лица, заметны-

ми скулами, выступающими вперёд губами, узкой глазной щелью, сильным развитием складки верхнего века и наличием эпикантуса, или «монгольской складки». Эпикантус — кожная складка в области угла глаза человека, прикрывающая слёзный бугорок (особенно сильно развит у детей и женщин и встречается чаще у женщин, чем у мужчин).

К монголоидной группе относится всё коренное население Азии (за исключением Индии) и Америки. Как особая ветвь в монголоидной расе выделяются американоиды, т. е. коренное население Америки (от северных эскимосов до индейцев Огненной Земли). Они отличаются от азиатских монголоидов двумя признаками — значительным выступанием носа и отсутствием эпикантуса, что приближает их к европеоидам.

Европеоидная раса характеризуется светлой или смуглой кожей, прямыми или волнистыми мягкими волосами, узким выступающим носом, сравнительно тонкими губами. Европеоиды населяют Европу, Кавказ, Юго-Западную Азию, север Африки, Индию и входят в состав современного населения Америки.

Родство рас. Расовые особенности наследственны, но в настоящее время они не имеют существенного значения для жизнедеятельности человека. Поэтому сейчас представители различных рас часто проживают на одной и той же территории. Но в далёком прошлом, когда ещё действие социальных факторов было невелико, безусловно, многие признаки, характерные для той или иной расы, явились приспособлением к определённым физико-географическим и климатическим условиям внешней среды и были выработаны под действием естественного отбора.

Многие морфологические признаки рас служат доказательством того, что на процесс расообразования большое влияние оказала природная среда, её абиотические и биотические факторы. Как и у всего живого мира, у человека в период его становления внешние условия вызывали изменчивость и появление различных приспособительных свойств, а естественный отбор сохранял наиболее удачные варианты приспособленности. Адаптивные свойства расы проявились не только во внешнем облике, но и в физиологии человека (в составе крови, особенностях жироотложения, активности обменных процессов).

Происхождение рас. Различия между расами возникли в связи с расселением людей в новых местообитаниях. Считается, что представители вида *Человек разумный* вышли за пределы Африки примерно 100–90 тыс. лет назад. Затем они заселили Южную Европу, Южную и Восточную Азию вплоть до Австралии. Через северо-восточную оконечность Азии они пришли в Америку — вначале на запад Северной Америки, откуда спустились в Южную Америку (рис. 90).

Расы начали формироваться в процессе заселения человеком разных территорий Земли около 70–40 тыс. лет назад, т. е. ещё на стадии раннего кроманьонца. Тогда многие расовые признаки имели большое адаптивное значение и закреплялись естественным отбором в условиях определённой

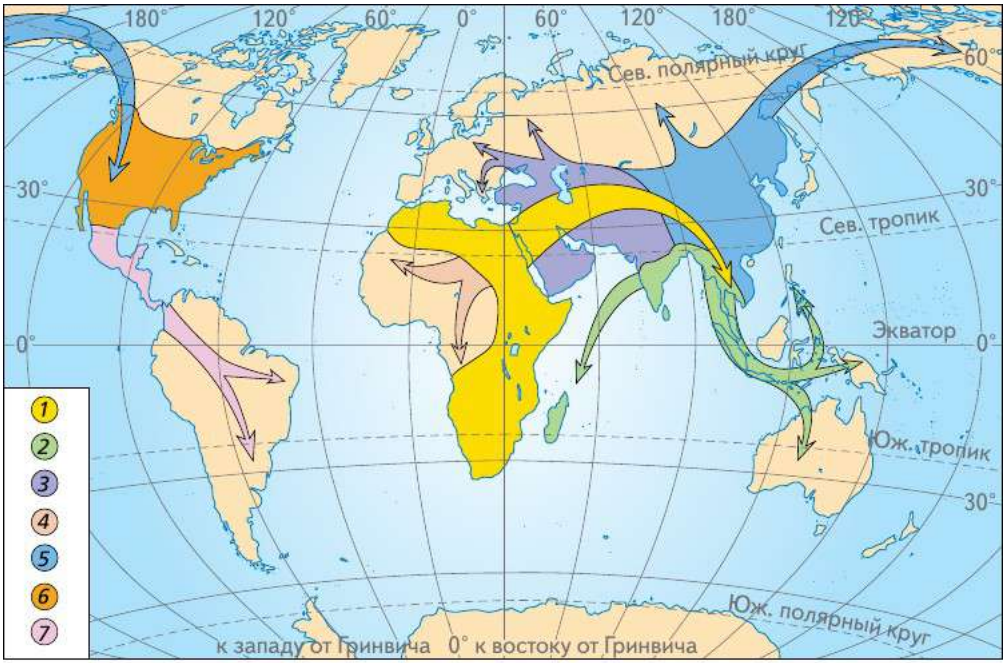


Рис. 90. Очаги расообразования и пути расселения рас: *1* — прародина человека и расселение из неё; *2* — очаг расообразования и расселение австралоидов; *3* — очаг расообразования и расселение европеоидов; *4* — очаг расообразования и расселение негроидов; *5* — очаг расообразования и расселение монголоидов; *6, 7* — очаги расообразования и расселение американоидов

географической среды. Однако с развитием социальных отношений (общение, речь, совместная охота и др.), усилением действия социальных факторов влияние среды, как и давление естественного отбора, перестало быть для человека формообразующей силой. Несмотря на появление многочисленных расовых различий в морфологических и физиологических признаках, репродуктивной изоляции между расами людей не произошло. По интеллектуальному потенциалу и умственным способностям расы также не имеют различий.

Активное перемещение по планете и возникающие при этом совместные поселения многих людей на одних и тех же территориях показали, что обособленность человеческих рас, их морфологические, физиологические и психические различия в результате смешанных браков уменьшаются и даже теряются. Это служит убедительным подтверждением единства вида *Человек разумный* и доказательством биологической равнозначности всех человеческих рас. Расовые различия касаются лишь признаков морфологии и физиологии, но они являются вариациями единой наследственности человека как вида.

Все человеческие расы стоят на одном биологическом уровне развития.

Несмотря на многообразие рас современного человека, все они являются представителями одного единого вида. Появление потомства в результате браков между людьми разных рас подтверждает их генетическую неизолированность, что свидетельствует о целостности вида. Единство вида *Человек разумный* обеспечивается общностью происхождения, неограниченной способностью к скрещиванию людей различных рас и этнических групп, а также одинаковым уровнем их общего физического и умственного развития.

1. Что лежит в основе формирования человеческих рас?
2. Какое влияние оказывало расселение людей по Земле на формирование человеческих рас?
3. Пользуясь материалами § 46, соотнесите понятия «раса» и «популяция».
4. Можно ли назвать вид *Человек разумный* полиморфным?

§ 47 Человек как житель биосферы и его влияние на природу Земли

Вспомните

- что такое биосфера;
- как человек воздействует на природу.

Человек — житель биосферы. Развитие природы в истории Земли на протяжении всего периода антропогенеза происходило при возрастающем влиянии на неё человеческого общества.

Эволюция человека связана с принципиально новой формой внутрипопуляционных связей. Постоянные контакты между особями, развитие членораздельной речи и, следовательно, мышления обеспечили нашим предкам возможность, пользуясь словом, обмениваться опытом, планировать предстоящие действия на охоте или при перемещении в новые места, обучать полезным навыкам подрастающие поколения. Всё это привело к созданию и применению более совершенных и эффективных орудий труда для обеспечения человеческих потребностей, что имело большое значение не только для психического развития человека, но и для освоения им природной среды.

На протяжении значительного периода своей эволюционной истории люди были кочевыми охотниками и собирателями. Чтобы прокормиться, они убивали диких зверей и собирали различные растения. Объединяясь в группы, люди могли охотиться на крупных животных или устраивать им западни. Добытое мясо стали заготавливать (сушить или замораживать), сохранять собранные орехи, зёрна, коренья и ягоды, чтобы потом в голодное время или зимой использовать в пищу.

Овладение огнём позволило обогатить и улучшить питание (копчение мяса для более длительного хранения, удаление ядовитых веществ при варке растительной массы. Разваренные мясо и растения становились мягче, что облегчало пищеварение). Это отразилось на увеличении численности людей, а также позволило расширить территорию их расселения по планете.

Организмы любого вида являются обитателями природных биогеоценозов. Человек, в отличие от всех организмов, в силу своей биосоциальной сущности и благодаря созданию особой культурной среды вышел из-под контроля естественного отбора и оказался способным существовать на всей территории планеты, в различных физико-географических условиях, т. е. стал *жителем биосферы*, её существенным реальным компонентом.

Влияние человека на биосферу. Человеческие поселения появились в различных районах земного шара вплоть до арктических и высокогорных, но особенно много людей живёт в зонах тёплого и умеренного климата. Повсюду в местах поселений стало заметным влияние человека на окружающую среду и на развитие всех частей биосферы. Результатом этого воздействия человека явилось изменение видового состава животного и растительного мира. Потребительское отношение к окружающей среде нарушило природные условия, места обитания организмов и привело к исчезновению многих видов. В частности, уничтожены такие крупные животные, как *мамонт*, *пещерный медведь*, *шерстистый носорог*, *гигантский наземный ленивец*, *гигантский динорнис* (рис. 91).

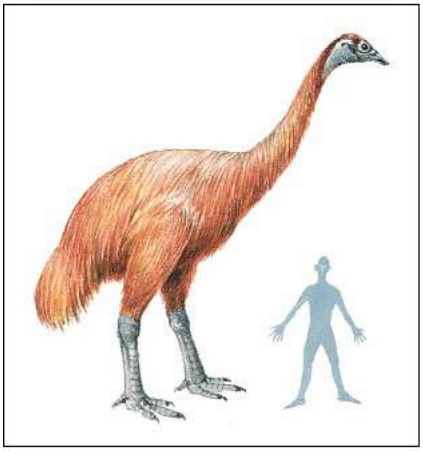


Рис. 91. Гигантский динорнис из отряда бескилевых птиц моа, обитавших в лесах Новой Зеландии и исчезнувших около 500 лет назад из-за неумеренной охоты на них народа маори

Увеличение численности *Человека разумного*, а также некоторое сокращение пищевых ресурсов обусловили во взаимоотношениях человека со средой новый, огромный по силе воздействия

на природу этап — приручение животных и окультуривание растений. Это произошло во многих частях земного шара. Приручение человеком первых животных датируется каменным веком (примерно 12–10 тыс. лет назад). Немного позже, в том же каменном веке, началось окультуривание некоторых видов растений.

Приручение и одомашнивание животных, а потом и их разведение изменили многие природные процессы окружающей среды. Ещё более сильное воздействие на биосферу оказали переход к оседлому сельскому хозяйству и особенно развитие земледелия (началось 12–10 тыс. лет назад). Земледелие в эволюции человека имело огромное положительное значение, так как дало ему надёжный способ обеспечения питанием.

Появился принципиально новый, социальный способ обеспечения человечества пищей — производство продовольствия.

Вместе с тем с развитием земледелия и скотоводства на Земле началось активное разрушение естественных природных сообществ, ускорилась гибель многих видов. Производимые человеком распашка земель, создание новых культурных пород животных и сортов растений, перемещение видов привели к появлению огромной армии сорняков, вредителей, возбудителей заболеваний и паразитов, поражающих домашний скот и культурные растения и таким путём конкурирующих с человеком за пищу.

Переход от охоты и собирательства к оседлому сельскому хозяйству из-за огромной значимости этого события в жизни человека и природы часто называют сельскохозяйственной революцией.

Сельскохозяйственная революция, считающаяся наиболее крупным событием для человека в освоении им среды обитания, привела к ускорению развития человечества и его культуры. Началось добывание различных типов топлива, применение машин, использование транспорта, создание крупных поселений, а затем и городов. Всё это сопровождалось огромными преобразованиями в природе.

Например, за 5 тыс. лет до н. э. в Юго-Западной Азии появились первые оросительные системы. За много столетий до нашей эры цивилизация майя создала судоходные каналы. В Месопотамии, Древнем Египте, Шумере, Китае, Индии в 4–3 тыс. лет до н. э. уже были многонаселённые крупные города с большими пригородными сельскохозяйственными зонами.

Освоение ископаемых видов топлива (каменного угля, нефти, газа), изобретение парового двигателя, применение механизированного транспорта, различных машин и другие преобразования производительных сил, получившие широкий размах в последние 200–300 лет, называют *промышленной революцией*. Этот технический прогресс значительно повлиял на все стороны жизни человечества, но в то же время оказал массированное воздействие на биосферу. Ускорилась эрозия почв, изменился климат на территориях городов, исчезли многие виды организмов,

истощились пастбища, возобновляемые и невозобновляемые природные ресурсы.

XX век характеризовался неизмеримым по своей мощности и скорости нарастания влиянием на природу человека, охваченного безудержным стремлением к комфортности своего существования. Достигнутые успехи в экономической жизни общества во второй половине XX в. были названы *научно-технической революцией* (*НТР*). Однако достижения НТР, связанные с надеждами подчинить силы природы, лишь на короткий срок были восприняты с оптимизмом, так как очень скоро обнаружилось существенное нарушение равновесия в окружающей среде и в биосфере в целом, вызванное результатами человеческой деятельности. Оно проявилось как в истощении природных ресурсов, так и в состоянии здоровья самого человека. Загрязнение окружающей среды, энергетический кризис, глобальные катастрофы поставили человечество перед проблемой спасения природы и самой жизни.

В наше время главная задача человечества — сохранение жизни на Земле.

Стремлением людей предотвратить надвигающуюся экологическую катастрофу объясняется внимание к экологии как научной основе рационального природопользования, сохранения устойчивого развития природы и человечества.

1. Объясните, почему на ранних этапах истории человечества воздействие людей на природу не было губительным для неё.
2. Каким должен быть характер отношений человека и природы, чтобы сохранить устойчивое развитие жизни?
3. Что лично вы можете сделать для защиты живой природы и окружающей среды?

Краткое содержание главы

1. Жизнь на Земле зародилась из неживой материи при формировании и развитии самой планеты в процессе физического и химического этапов её эволюции.

2. Жизнь появилась около 4 млрд лет назад в условиях молодой, формирующейся планеты. Согласно гипотезе А.И. Опарина, она возникла в результате химической эволюции, а её развитие до состояния современного разнообразия и сложности происходило путём биологической эволюции, которая продолжается и в настоящее время.

3. На первых этапах развития жизни главными стали следующие события: появление прокариот, обладающих разными типами обмена веществ, появление автотрофности (и хлорофилла), накопление кислорода

в атмосфере и создание озонового слоя, появление в клетке оформленного ядра с ДНК (появление эукариот), возникновение многоклеточности, полового размножения, выход живых организмов на сушу.

4. Многообразие и происхождение видов, появление у них приспособленности к среде обитания объяснил Ч. Дарвин в своей теории эволюции. Главными движущими силами эволюции Дарвин называл: наследственность, изменчивость, борьбу за существование и естественный отбор. Главная заслуга Ч. Дарвина состоит в том, что он объяснил механизм эволюционного процесса и происхождения видов, доказав, что вид происходит от вида.

5. Современное учение об эволюции основано на популяционной концепции видообразования. С помощью мутаций и отбора в популяциях вида накапливаются признаки, отличающие их друг от друга, что приводит к их репродуктивной изоляции и, следовательно, к дивергенции и обособлению в качестве новых видов.

6. Благодаря процессу микроэволюции на Земле идёт постоянное увеличение общего количества видов, хорошо адаптированных к среде обитания, и возникает биологическое разнообразие.

7. Эволюционные события крупного масштаба, ведущие к образованию групп организмов (таксонов) более высокого ранга, чем вид, отражают процесс макроэволюции. Однако все макроэволюционные события происходят на основе процессов микроэволюции.

8. Эволюция — это необратимый процесс исторического развития жизни, идущий путём образования новых видов и их адаптации к среде обитания. Эволюция — это незапрограммированный процесс. Направление, скорость и ход развития живой природы задаёт естественный отбор.

9. Основными направлениями эволюции, характеризующими пути к биологическому прогрессу, являются ароморфоз, идиоадаптация и общая дегенерация.

10. Вид *Человек разумный* появился на Земле в результате исторического процесса эволюции, отделившись от одной из ветвей отряда приматов. Главными факторами становления человека современного типа стали социальные факторы. На определённом этапе антропогенеза они заметно снизили роль естественного отбора в формировании свойств и признаков человека. Поэтому человека называют биосоциальным существом, сочетающим в себе и биологические, и социальные признаки.

11. Расы — это различные по некоторым морфологическим признакам группы вида *Человек разумный*. Но разум, свойственный человеку, его интеллектуальные свойства и, главное, наличие плодовитых браков между людьми разных рас свидетельствуют о том, что вид *Человек разумный* — един и все расы равны.

Подведём итоги

Что вы узнали из материалов главы 4 «Закономерности происхождения и развития жизни на Земле»?

Проверьте себя самостоятельно

1. В каких условиях возникла жизнь на Земле?
2. Какие условия внешней среды стали причиной выхода организмов на сушу?
3. Какова роль кислорода в эволюции жизни?
4. Назовите основные закономерности эволюции.
5. В чём сходство микроэволюции и макроэволюции?
6. Почему популяцию называют формой существования вида?
7. Какую роль в эволюционном процессе играет борьба за существование?
8. Охарактеризуйте основные направления эволюции.
9. Раскройте значение видообразования в жизни природы.
10. Охарактеризуйте этапы антропогенеза.
11. В каких районах Земли произошло формирование рода *Человек*?
12. Когда и как естественный отбор действовал в эволюции человека?
13. Почему человека называют жителем биосферы?
14. Почему вид называют качественным этапом в системе организмов?
15. Какова роль популяции в эволюционном процессе?
16. В чём заключается главное различие между ароморфозом и идиоадаптацией?

Выполните задания

А. Сформулируйте правильный ответ.

1. Впервые гипотезу о происхождении жизни на Земле высказал
а) Дж. Холдейн
б) А.И. Опарин
в) Ч. Дарвин
г) В.И. Вернадский

2. Образование новых видов в природе происходит путём
а) микроэволюции
б) макроэволюции
в) ароморфоза
г) естественного отбора

3. Материал для эволюции поставляет
а) борьба за существование
б) мутационный процесс
в) естественный отбор
г) модификационная изменчивость

4. К движущим силам эволюции относят
а) многообразие видов
б) борьбу за существование
в) видообразование
г) приспособленность

Б. Уберите лишний термин.

- Эволюция, микроэволюция, ароморфоз, макроэволюция.
- Естественный отбор, искусственный отбор, селекция, приспособленность.
- Архей, коацерваты, прокариоты, «первичный бульон».
- Популяция, вид, микроэволюция, естественный отбор.

В. Исправьте ошибку в утверждении.

- Первыми фотосинтезирующими организмами на Земле были примитивные эукариоты.
- Человек появился на нашей планете в мезозойскую эру.
- Популяция — это группировка видов, участвующих в эволюционном процессе.

Обсудите проблему в классе

1. Как объяснить господство древних папоротниковидных растений в палеозое и их почти полное исчезновение в той же эре?

2. Какие идеи эволюционного учения нашли отражение в мировоззрении человеческого общества?

3. Какие явления лежат в основе необратимости эволюции?

4. В чём заключается различие действия естественного отбора при видообразовании и расообразовании?

Выскажите своё мнение

- Можно ли считать все причины, вызывающие гибель организмов, естественным отбором? Если организмы погибли при землетрясении, означает ли это, что они подверглись естественному отбору?
- На каких уровнях организации жизни проявляется биологический прогресс?

Ваша позиция

В процессе антропогенеза предки *Homo sapiens* преодолевали различные сложные ситуации, обусловленные воздействием окружающей среды. Сможет ли современное человечество справиться с проблемами, негативно воздействующими на живую природу?

Проведите наблюдения и сделайте вывод

Внимательно рассмотрите рисунки 86 и 87. По рисунку 86 проанализируйте эволюционные изменения в строении, размерах и форме руки у человека в процессе его происхождения. По рисунку 87 определите, как шло эволюционное изменение нижней челюсти в процессе становления современного человека. Сделайте общий вывод о характере эволюционных изменений в процессе антропогенеза.

Учимся создавать проекты, модели, схемы

- Создайте схему «Типы видообразования в природе».
- Используя информационный ресурс, создайте презентацию к докладу на тему «Древние предки *Человека разумного*».
- Постройте сравнительную таблицу, показывающую сходство и различия основных положений в эволюционных теориях Ж.Б. Ламарка и Ч. Дарвина.

Темы проектов для выполнения в группе

- Выполнение демонстрационной модели «Идиоадаптация» на примере различных способов добывания пищи (или постройки гнёзд) у птиц или распространения семян у цветковых растений.
- Создание проекта — презентации доклада с рисунками и объяснительным текстом на тему «Развитие систем органов у позвоночных животных в процессе эволюции». Для проекта можно использовать материалы о системе кровообращения или о системе органов дыхания у животных.
- Создание иллюстрированного атласа о животных с текстом на тему «Приспособленность организмов к среде обитания».

- Растения избегают биологической изоляции благодаря переносу на большие расстояния их пыльцы, спор, семян ветром, водой или животными. Животные в силу своей подвижности нередко преодолевают географические барьеры. Характерно, что многие популяции животных в период между сезонами размножения (перелёты птиц, сезонные

миграции рыб, млекопитающих и многих других животных) оказываются вместе на одной территории, особи разных популяций смешиваются между собой и могут оказаться не в своей, в другой популяции данного вида. И к периоду размножения благодаря «инстикту дома» часто оказываются на территории размножения этой, а не своей популяции.

Ареалы популяций вида различны. Например, целые полушария занимают две популяции *полярной крачки*. Особи популяции восточной части вида гнездятся на самых северных побережьях Евразии, а осенью улетают к южному побережью Австралии и острову Тасмания. Маршрут перелётов западной части вида североамериканской популяции полярной крачки идёт через Атлантику, затем вдоль западных берегов Африки, а далее — к мысу Горн и Огненной Земле. Ареалы географических популяций некоторых видов моллюсков, амфибий, червей, перемещающихся в пределах небольшой территории, ограничены лишь несколькими десятками квадратных метров.

- Прочитайте книгу Н.Н. Иорданского «Эволюция жизни» (М., 2001) и научный труд Ч. Дарвина «Происхождение видов путём естественного отбора» (М. : Просвещение, 1987). Вы узнаете много интересного о развитии жизни на нашей планете.

Абиогенез, биогенез, эволюция, химическая эволюция, биологическая эволюция, коацерваты, синтетическая теория эволюции, микроэволюция, макроэволюция, вид, популяция, видообразование, борьба за существование, естественный отбор, мутационный процесс, популяционные волны, изоляция, дрейф генов, искусственный отбор, биологический прогресс, биологический регресс, направления эволюции, антропогенез, австралопитек, архантроп, палеоантроп, неандерталец, неоантроп, кроманьонец, Человек разумный (Homo sapiens), расы (негроидная, монголоидная, европеоидная), биосоциальная сущность человека.

Глава 5

Закономерности взаимоотношений организмов и среды

Изучив главу, вы сможете характеризовать:

- особенности четырёх сред жизни на Земле;
- закономерности действия экологических факторов среды;
- природное сообщество как биогеоценоз и экосистему;
- структуру и строение биогеоценозов;
- популяцию как форму существования вида в природе;
- биосферу как глобальную экосистему.

Вы сумеете:

- сравнивать типы биотических связей в биогеоценозе;
- объяснять роль многообразия видов в поддержании устойчивости биогеоценозов;
- сравнивать устойчивость естественных и искусственных экосистем;
- доказывать различие между сообществом и биогеоценозом;
- объяснять необходимость бережного отношения к природе.

§ 48

Условия жизни на Земле. Среды жизни и экологические факторы

Вспомните

- какие функции в природе выполняют растения;
- какова биологическая роль в природе животных, грибов и бактерий.

Экологические факторы. Жизнь на Земле существует повсюду, кроме как в жерлах действующих вулканов. Всё, что окружает живой организм, называют его *средой обитания*. Изучением взаимодействия организмов с окружающей средой занимается наука ***экология*** (греч. *oikos* — «жилище», «местопребывание» и *logos* — «слово», «учение»).

Каждое живое существо тесно связано со своей средой обитания, испытывает её влияние и в свою очередь воздействует на неё. Все действия сре-

Среды жизни. На Земле существуют четыре ***среды жизни***, различающиеся по свойствам и силе действия отдельных факторов: *водная, наземно-воздушная*, *почвенная* и *организменная* (тела других организмов) (рис. 92). Комплекс условий среды жизни, с которым взаимодействуют организмы, называют их средой обитания.

В зависимости от того, в каких средах живут представители разных видов, они испытывают действие разных экологических факторов и вынуждены приспосабливаться к ним.

Водная среда — это Мировой океан, континентальные водоёмы и подземные воды. Разнообразием комплекса условий в разных водах объясняются свойства населяющих их организмов — *гидробионтов* (греч. *hydor* — «вода» и *biontos* — «живущий»).

Условия жизни в этой среде определяются химическими и физическими свойствами воды: её плотностью, большой теплоёмкостью, невысокой теплопроводностью, растворёнными солями и газами, сильным поглощением света. Температурные колебания в водной среде обычно невелики из-за невысокой теплопроводности воды, что облегчает жизнь её обитателей.

Одна из сложностей жизни в водоёмах — низкое содержание кислорода. В литре воды при 0 °С его растворяется не более 10 мл, т. е. содержится в 21 раз меньше, чем в воздухе. С повышением температуры и загрязнением воды содержание кислорода сильно падает, поэтому в водоёмах могут возникать заморы — массовая гибель рыб и беспозвоночных от удушья. Из-за сильного поглощения водой солнечных лучей фотосинтез у растений может происходить только в её верхних слоях. Даже в самых чистых водах водоросли обычно не живут глубже 150–200 м, тогда как животные обитают и на самых больших глубинах (до 11 км), где вечный мрак.

Наземно-воздушная среда — самая сложная для жизни. Это среда контрастов: резких колебаний температур, смены погодных условий, неравномерного распределения света и влаги. Она отличается обилием воздуха, поэтому организмы, живущие здесь, называются *аэробионтами* (греч. *aer* — «воздух»).

Воздух имеет низкую плотность и плохо поддерживает тело, поэтому наземно-воздушную среду освоили только те группы организмов, которые выработали хорошую скелетную опору (высшие растения, позвоночные, насекомые). Зато эта среда отличается высоким содержанием кислорода и значительной освещённостью солнечным светом. Здесь имеются условия для интенсивного обмена веществ и развития богатой растительности. В наземно-воздушной среде возможно существование как влаго-, так и сухолюбивых видов, как холодо-, так и теплолюбивых, в зависимости от конкретных районов Земли. Значимыми экологическими факторами этой среды являются дожди, снежный покров, ветер, характер грунта, рельеф и другие, что создаёт большое разнообразие условий для живых организмов в разных районах земного шара.

Наземно-воздушная среда по своим физико-химическим условиям считается достаточно суровой по отношению ко всему живому. И всё же, несмотря на суровость условий, жизнь на суше достигла очень высокого уровня как по общей массе органического вещества, так и по разнообразию проявления свойств живой материи.

Почвенная среда представляет собой рыхлый поверхностный слой литосферы, переработанный деятельностью живых существ и климатических факторов. Эта особая среда обитания пронизана порами, содержащими и влагу, и воздух. В неё постоянно поступают отмершая растительная масса, трупы мелких и крупных животных, всевозможные выделения живых организмов, что является богатым энергетическим источником для обитателей почвы. Поэтому почвенная среда населена множеством видов бактерий, грибов, водорослей, животных. Она пронизана также корнями растений. Почвенный воздух всегда насыщен водяными парами, так что обитателям почвы не грозит высыхание. С глубиной уменьшается размах колебаний температуры, летом в почве прохладнее, а зимой — теплее, чем на поверхности.

Виды, населяющие почвенную среду, называют *эдафобионтами* (греч. *edaphos* — «почва»).

Организменная среда — это сами живые организмы. Они используются другими видами и как место жизни, и как источник пищевых ресурсов. Организмы, населяющие живые существа, называют *эндобионтами* (греч. *endon* — «внутри»). *Паразиты*, осваивающие тело хозяина, живут в условиях неограниченного запаса пищи и защищены от факторов внешней среды. Однако они должны преодолевать защитные реакции хозяина.

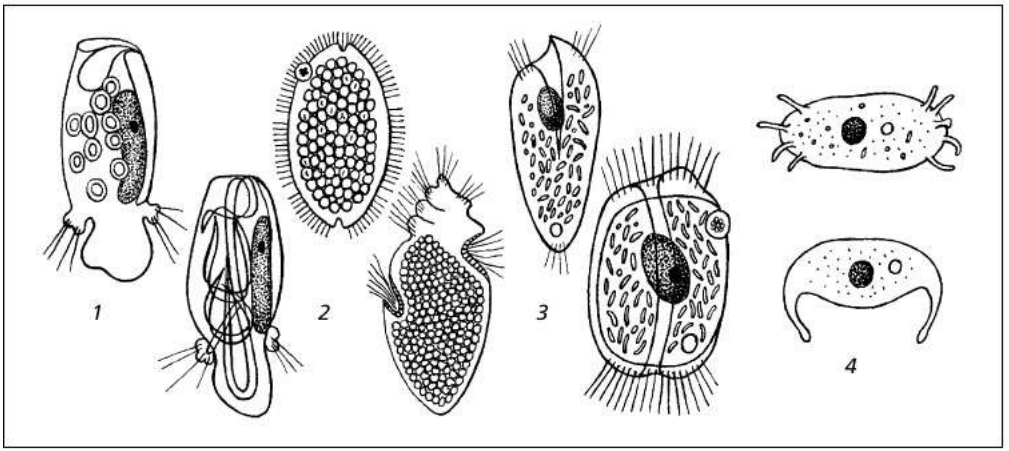


Рис. 93. Инфузории-эндобионты из кишечника кулана: *1*, *2* — инфузории, питающиеся растительным кормом хозяина (в их теле видны растительные клетки и крахмальные зёрна); *3* — инфузории, поедающие бактерий; *4* — инфузории, нападающие на других инфузорий и высасывающие их содержимое

Кроме того, создаются большие трудности для перехода паразита от одного хозяина к другому, осуществляемого или через внешнюю среду, или через промежуточных хозяев.

Многие виды живут в других организмах не как паразиты, а как полезные сожители — *симбионты*. Например, ряд бактерий и одноклеточных простейших обитают в пищеварительном тракте травоядных животных, помогая им переваривать клетчатку и находя в хозяине источник пищи и защиту. Есть среди них и *хищники*, поедающие бактерий и инфузорий (рис. 93).

1. В каких средах жизни обитают растения, грибы, животные?
2. Почему наземно-воздушная среда характеризуется наибольшим разнообразием форм организмов?
3. Подумайте, к какой группе экологических факторов можно отнести пожар в лесу.
4. Понаблюдайте, как антропогенные факторы проявляются в жизни серой вороны.

§ 49

Закономерности действия факторов среды на организмы

Вспомните

- какие факторы действуют на организмы;
- что называют экологическими факторами среды.

Многие экологические «беды» возникают из-за неосознанного нарушения человеком самых элементарных природных законов. Эти законы отражают разнообразные стороны действия факторов среды на организмы. Факторов среды — великое множество, и представители разных видов реагируют на них по-разному, однако можно выявить ряд общих законов действия факторов среды на организмы. Все экологические факторы могут оказывать стимулирующее или угнетающее действие — это зависит от силы действия фактора, т. е. от его количественных показателей. Реакция организмов разных видов на любой фактор проявляется в их активности и выносливости в зависимости от интенсивности воздействия фактора.

Закон оптимума (лат. *optimum* — «наилучшее») отражает реакцию видов на изменение силы действия любого фактора. Есть определённые границы действия каждого фактора, в пределах которых жизнеспособность организмов возрастает. Это *зона оптимума*. При отклонениях силы воздействия фактора от данной зоны в сторону уменьшения или увеличения жизнеспособность организмов падает. Это *зоны угнетения*, или *пес-*

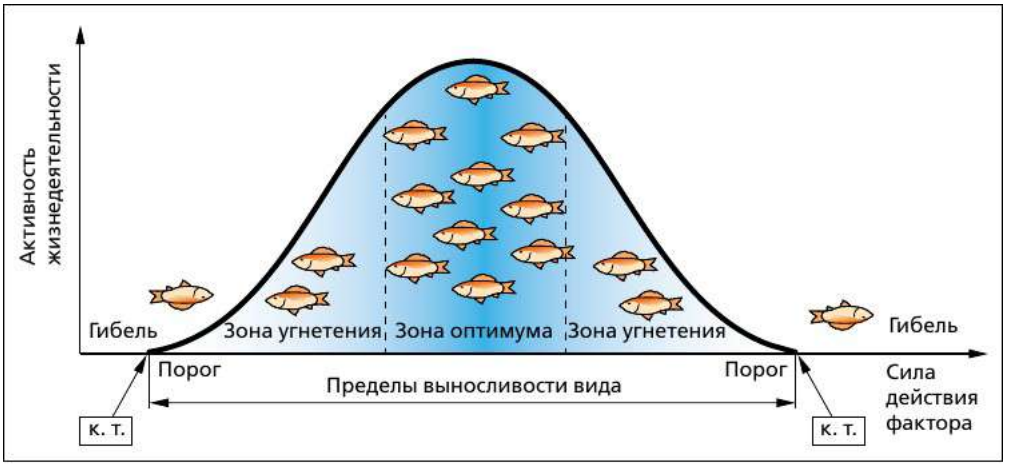


Рис. 94. Схема действия фактора среды на организмы (к. т. — критическая точка)

симума (лат. *pessimus* — «очень плохой»). Если действие фактора выходит за определённые, минимально или максимально возможные для вида пределы, организмы погибают. Губительное значение фактора называют *критической точкой* (рис. 94).

Закон оптимума имеет большое практическое значение. Нет всецело положительных или отрицательных факторов, всё зависит от их дозировки. Формы влияния среды на организмы имеют сугубо количественное выражение. Чтобы управлять жизнедеятельностью вида, следует прежде всего не допускать выхода различных экологических факторов за их критические значения и стараться выдерживать зону оптимума. Это очень важно для растениеводства, животноводства, лесного хозяйства и вообще всех областей взаимоотношений человека с живой природой. Это же правило относится и к самому человеку, особенно в области медицины.

Использование закона оптимума осложняется тем, что для каждого вида оптимальные дозировки факторов различны. То, что хорошо для одного вида, может быть пессимумом или выходить за критические пределы для другого. Например, при температуре 20 °С тропическая обезьяна дрожит от холода, а северный обитатель — песец — изнывает от жары. Бабочки зимней пяденицы ещё порхают в ноябре (при температуре 6 °С), когда большинство других насекомых впадают в оцепенение. Рис выращивают на полях, залитых водой, а пшеница в таких условиях вымокает и погибает.

Это свидетельствует о том, что в природе нет двух видов с полным совпадением оптимума, минимума и критических точек по отношению к набору факторов среды (рис. 95). В природе есть виды с узким диапазоном активности жизнедеятельности по отношению к экологическому фактору, например к яркости света. Одни виды характеризуются как светолюбивые (рис. 95, *Б*),

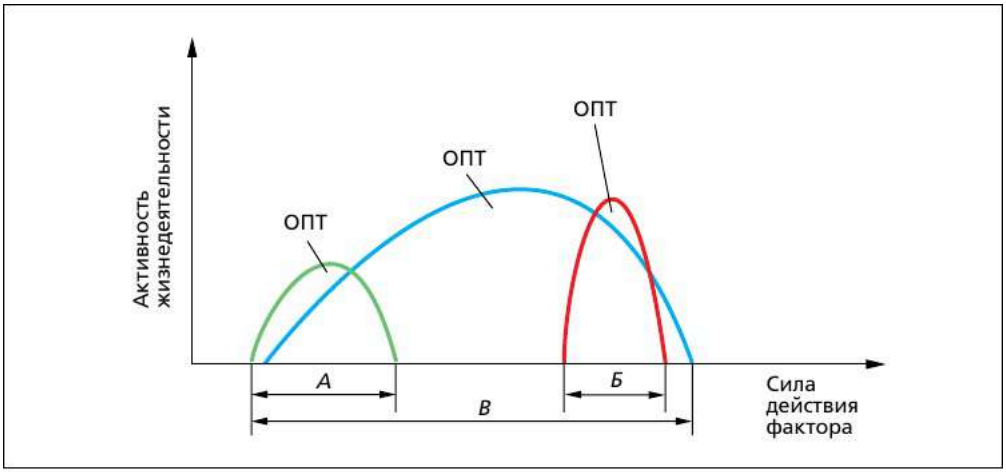


Рис. 95. Схема проявления свойств организмов в зависимости от силы действия фактора; *А, Б, В* — пределы выносливости трёх видов

другие, наоборот, — тенелюбивые (рис. 95, *А*), но есть и теневыносливые. Они могут жить и в условиях яркого света, и при большом затенении (рис. 95, *В*).

Если виды совпадают по устойчивости к одному фактору, то обязательно разойдутся по устойчивости к другому.

Закон ограничивающего фактора тесно связан с законом оптимума и вытекает из него. В окружающей среде нет всецело отрицательных или положительных факторов: всё зависит от силы их действия.

Любой фактор, влияющий на организмы, может стать либо оптимальным, либо ограничивающим в зависимости от силы своего воздействия.

Факторы, сдерживающие развитие организма из-за их недостатка или избытка, называют лимитирующими или ограничивающими.

На живые существа одновременно действует множество факторов (закон совместного действия факторов), и к тому же большинство из них переменчиво. Но в каждый конкретный период времени можно выделить самый главный фактор, от которого в наибольшей мере зависит жизнь. Им оказывается тот фактор среды, который сильнее всего отклоняется от оптимума, т. е. ограничивает жизнедеятельность организмов в данный период.

Результат влияния любого экологического фактора на жизнедеятельность организмов во многом зависит от того, в какой комбинации и с какой силой действуют в данный момент другие факторы.

Так, каждый знает, что переносить мороз в безветренную погоду значительно легче, чем при сильном ветре. Влияние 30-градусной жары значительно сильнее при высокой влажности воздуха, чем в сухую погоду,

и т. д. Поэтому, если нет возможности изменить ограничивающий фактор, часто можно добиться смягчения его действия, изменяя другие. В сельском хозяйстве эти приёмы входят в нормы агротехники. Например, добавочное рыхление почвы снижает испарение почвенной влаги, так как нарушает сеть мелких пор, из которых испаряется вода.

Полностью заменить один фактор другим нельзя. Но нередко при комплексном воздействии факторов можно видеть *эффект замещения*. Например, свет не может быть заменён избытком тепла или углекислого газа, но, действуя изменениями температуры, можно усилить фотосинтез у растений. Однако это не замещение одного фактора другим, а проявление сходного биологического эффекта, вызванного изменениями количественных показателей совместного действия факторов. Это явление широко используется в сельском хозяйстве. Например, в теплицах для получения продукции создают повышенное содержание углекислого газа и влаги в воздухе, подогрев и тем отчасти компенсируют нехватку света в осеннее и зимнее время.

Периодичность и регулярность действия факторов. В действии экологических факторов на планете наблюдается *периодичность*, связанная со временем суток, сезонами года, морскими приливами и фазами Луны. Эта периодичность обусловлена космическими причинами — движением Земли вокруг своей оси, вокруг Солнца и взаимодействием с Луной. Жизнь на Земле приспособлена к этой постоянно существующей ритмике, что проявляется в изменениях состояния и поведения организмов.

Вегетация растений, листопад, зимний покой, размножение животных, их миграции, спячки, нагуливание жира — примеры явлений, обусловленных сезоном года. Сменой дня и ночи вызываются изменения активности у животных, скорость фотосинтеза у растений и т. п.

Приспособленность к периодическим изменениям внешней среды выражается не только в непосредственной реакции на изменение ряда факторов, но и в наследственно закреплённых внутренних суточных и сезонных ритмах.

Внутренние сезонные ритмы перестраиваются с большим трудом и зачастую лишь через несколько поколений. Например, животные Южного полушария, перевезённые в наши зоопарки, размножаются обычно осенью, под зиму, когда на их родине весна.

В сезонных перестройках жизнедеятельности у большинства видов большое значение имеет длина светового дня, т. е. соотношение светлого и тёмного периодов суток, или фотопериод. Реакцию организмов на изменение длины дня называют *фотопериодизмом* (греч. *photos* — «свет» и *periodos* — «круговорот», «чередование»).

Длина светового дня является единственным точным *сигналом* приближения зимы или весны, т. е. изменения всего комплекса факторов внешней среды. Погодные же условия обманчивы. Поэтому растения, например, реагируя на длину дня, не распускают листву в зимние оттепели и не переходят к листопаду при краткосрочных летних заморозках. Зацве-

тают растения тоже при определённой длине дня. Цветение растений является одним из проявлений фотопериодизма. С этим часто сталкиваются растениеводы. У растений важно различать короткодневные и длиннодневные виды или сорта. Длиннодневные растения сформировались в основном в умеренных и приполярных широтах, а короткодневные — в областях ближе к экватору.

Способность воспринимать длину дня и реагировать на неё особенно широко проявляется в животном мире. У животных фотопериодизм контролирует плодовитость, сроки брачного периода, миграции, переход к зимней спячке.

В явлениях фотопериодизма выражается не непосредственное действие фактора освещённости на организмы, а его сигнальное значение. Соотношение светлого и тёмного периодов суток в разные сезоны года как *сигнальный фактор* предупреждает о предстоящих изменениях в природе, подготовка к которым требует времени. Поэтому необходимые физиологические перестройки у животных и растений успевают совершиться заранее.

1. Что такое сигнальный фактор? Чем он отличается от других абиотических факторов среды?

2. Относится ли закон оптимума к ядам и лекарствам, действующим на организм человека?

3. Замените выделенные слова утверждений термином.

- *Способность воспринимать длину дня и реагировать на неё* — явление, широко распространённое в растительном и животном мире.
- *Определённые границы действия каждого фактора* — это пределы, в которых жизнеспособность организма реализуется лучше.

4. Укажите, какой вид вашей деятельности в природе мог бы служить примером антропогенного фактора.

§ 50

Приспособленность организмов к действию факторов среды

Вспомните

- как организмы реагируют на воздействие факторов среды;
- чем обусловлена периодичность в жизни организмов.

Понятие об адаптации. Приспособлениями, или ***адаптациями***, называют любые признаки организмов, повышающие их шансы на выживание во внешней среде. Адаптации создаются и поддерживаются в ходе

эволюции видов, на основе их изменчивости, через естественный отбор. Все существующие виды прошли этот отбор и, следовательно, обладают необходимыми адаптациями к условиям своего обитания. В неживой природе действуют разные физико-химические факторы, которые определяют направления возможных приспособлений для живых организмов.

Эти возможности можно рассмотреть на примере *планктона* (греч. *plankton* — «блуждающий») — организмов, взвешенных в толще водной среды.

Вести планктонный образ жизни в воде возможно лишь в том случае, если силы, удерживающие организм на плаву, соответствуют его весу. Против силы тяжести действуют выталкивающая сила (по закону Архимеда) и силы сцепления частиц воды с поверхностью тела. Следовательно, любые способы облегчения веса и увеличения поверхности тела будут благоприятствовать планктонному образу жизни. У одних видов это достигается очень мелкими размерами, у других — разнообразными выростами, щетинами, складками, у третьих — насыщением клеток капельками жира или наличием газовых полостей, уменьшающих удельный вес (рис. 96).

Активно и быстро плавающие виды, в отличие от планктонных, напротив, выработали в процессе эволюции иную форму, которую называют торпедовидной. По законам гидродинамики быстро движущееся в воде тело может успешно преодолеть лобовое сопротивление лишь при определённых пропорциях (примерном отношении длины к наибольше-

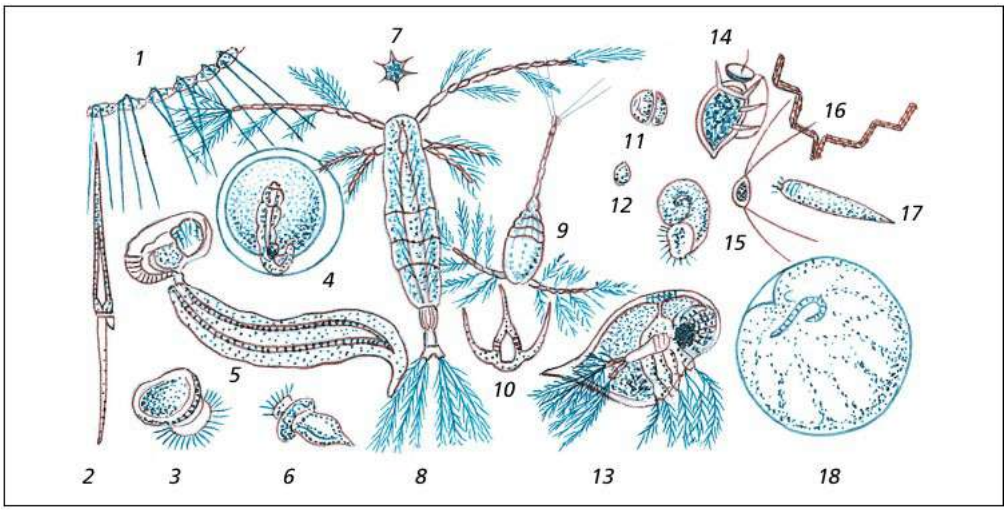


Рис. 96. Морской планктон: *1, 7, 16* — диатомовые водоросли; *2, 10, 11, 14* — перидинеи (группа микроскопических водорослей); *3, 12* — личинки моллюсков; *4* — икринка рыбы; *5* — аппендикулярия (примитивное хордовое животное); *6, 15, 17* — инфузории; *8, 9, 13* — ракообразные; *18* — ночесветка (представитель жгутиконосцев)

му диаметру как 5 : 1). Именно такие пропорции свойственны и дельфинам, и акулам, и рыбам тунцам, и кальмарам, и древним ихтиозаврам.

Внешнее сходство организмов отражает не родство видов, а сходные черты образа жизни. В одинаковой среде обитания образуются сходные приспособительные формы. Например, деревья, кустарники, кустарнички, разнообразные травы — формы, возникшие у разных видов растений при сходном использовании среды.

Разнообразие адаптаций. По внешнему облику разных видов животных и растений можно понять, не только в какой среде они обитают, но и какой образ жизни в ней ведут.

Например, все позвоночные животные, ведущие подземный образ жизни, имеют компактное тело с короткой шеей и коротким хвостом, слаборазвитые глаза и ушные раковины, короткий, как бы подстриженный мех, роют землю либо передними конечностями с мощной мускулатурой и сильными когтями, либо выступающими, как долото, резцами. Таковы кроты, слепыши и другие виды. Роющее насекомое медведка также внешне напоминает маленького крота. Растения лианы имеют стебли с различными приспособлениями — крючьями, усиками или присосками, позволяющими им цепляться за прямостоячие стебли других видов и выносить свои листья к свету. Формы лиан есть и среди травянистых, и среди древесных растений, представляющих виды из разных семейств.

Своеобразие внешнего строения, отражающее приспособления вида к определённому образу жизни в среде обитания, называют *жизненной формой*.

Жизненная форма вырабатывается в ходе эволюционного становления вида. Разные виды могут иметь сходную жизненную форму, если ведут сходный образ жизни.

В то же время есть виды, особи которых на разных стадиях индивидуального развития могут быть в разных жизненных формах. Это явление наблюдается у животных, развитие которых идёт с метаморфозом, т. е. у которых в жизненном цикле имеется стадия личинки (головастик и лягушка, личинка и взрослая особь угря, гусеница и бабочка). У растений жизненная форма может быть разной в зависимости от условий произрастания. Например, *берёза пушистая*, *рябина обыкновенная* в лесах умеренного климата представляют собой одноствольные деревья, а вырастая в лесотундровых и тундровых сообществах, приобретают многоствольную, кустарниковую жизненную форму.

Некоторые приспособления выражаются не только во внешних признаках вида, но и в изменениях его физиологических процессов, в характере поведения, жизненных циклах, а также во внутриклеточных биохимических превращениях и распространении.

По отношению к какому-либо одному господствующему фактору среды (к свету, температуре или воде, типу пищи и др.) выделяют *экологические*

группы организмов. Различают экологические группы по отношению к свету (светолюбивые, тенелюбивые и теневыносливые), температуре (теплолюбивые, жаростойкие, холодолюбивые), воде (влаголюбивые, засухоустойчивые и др.).

По изменчивости температуры тела выделяют *пойкилотермные* и *гомойотермные* группы организмов. У пойкилотермных, или холоднокровных, организмов внутренняя температура тела следует за изменениями температуры среды. Скорость обмена веществ у них то возрастает, то понижается. Таких видов — большинство на Земле. Гомойотермных, или теплокровных, только две группы — млекопитающие и птицы. Они способны поддерживать постоянную температуру тела при любых условиях среды. Их обмен веществ характеризуется высокой скоростью, даже если наружная температура постоянно меняется. Например, белые медведи в Арктике или пингвины в Антарктиде выдерживают 50-градусные морозы, что составляет разницу в 87–90 °С по сравнению с их собственной температурой.

Виды с непостоянной температурой тела при понижении температуры способны переходить в неактивное физиологическое состояние. Замедление обмена веществ в клетках сильно увеличивает устойчивость организмов к неблагоприятным погодным условиям. Переход животных в состояние оцепенения, как и переход растений в состояние покоя, позволяет им переносить зимние холода с наименьшими потерями, не тратя много энергии.

Форма тела, физиологические свойства, образ жизни, поведение организмов, их распространение и ритмы жизни являются чертами приспособленности видов (адаптаций) к определённой среде обитания.

Таким образом, многообразие приспособительных свойств, выработавшихся у организмов под влиянием факторов среды, обеспечивает им возможность существования в разных условиях биосферы.

1. В чём состоит различие понятий «жизненная форма» и «экологическая группа»?

2. В чём проявляются адаптации к распространению плодов и семян у одуванчика, вишни, репейника, мака и ели?

3. Подумайте и ответьте на вопросы.

- Какие свойства организма белого медведя и пингвина позволяют им переносить без ущерба 50-градусные морозы?
- Почему пойкилотермных животных очень мало в приполярных районах Земли?

Тема: **Оценка качества окружающей среды**

Цель работы: ознакомиться с наиболее доступными методами оценки загрязнения окружающей среды.

Оборудование: лист белой бумаги, прозрачная клеящаяся плёнка (скотч), лупа.

Ход работы

1. В помещении класса (кабинете биологии) произведите сбор проб с различных поверхностей (рабочих столов, подоконников, оконных стёкол, стен, листьев растений). К поверхности 2–3 объектов приложите прозрачную клеящуюся плёнку. Затем снимите плёнку с прилипшей к ней пылью и клейкой стороной прикрепите к листу белой бумаги.

2. Такую же работу выполните в коридоре, собирая пробы со стен на высоте 0,5–1,2 м.

3. На площади в 1 см^2 каждой полученной пробы сосчитайте количество пылинок. Сравните запылённость разных поверхностей в классе.

4. Сравните данные своих наблюдений с результатами исследования других учеников.

5. В таблицу занесите среднее количество проб с одинаковой запылённостью.

6. Сделайте общий вывод об уровне запылённости в классе и коридоре.

Место взятия пробы	Количество проб			
	1-й уровень	2-й уровень	3-й уровень	4-й уровень
Класс				
Коридор				
Вывод:				

Примечание. Уровень запылённости можно выразить в баллах: 1-й уровень — слабая запылённость (1–5 пылинок на 1 см^2); 2-й уровень — средняя запылённость (5–9 пылинок); 3-й уровень — сильная запылённость (10–15 пылинок); 4-й уровень — очень сильная запылённость (более 15 пылинок на 1 см^2).

§ 51

Биотические связи в природе

Вспомните

- какова биологическая роль адаптаций;
- по какому принципу выделяют экологические группы организмов.

Ни один вид, ни один живой организм не могут существовать без других. Вся живая природа представляет собой сложную систему *биотических связей*, от которых зависят возможности питания, размножения, распространения видов, способность существовать совместно и многие свойства их местообитаний. Зависимости организмов друг от друга чрезвычайно разнообразны. Отношения видов в этих связях могут быть различными — от взаимополезных до взаимоневыгодных. Основным источником пищи (органических веществ) и энергии на суше служат зелёные растения, в океане — цианобактерии и фотосинтезирующие простейшие.

Пищевые связи. От пищевых связей зависит жизнь организмов, обеспеченность их энергией. Эти связи, называемые также ***трофическими*** (греч. *trophe* — «пища», «питание») ***связями***, носят всеобщий характер, так как нет ни одного вида на Земле, который не служил бы пищей другим или сам не использовал бы для этих целей другие виды.

Трофические отношения образуют в сообществах сложную систему, которую называют *сетью питания*. Её можно схематически изобразить как густую паутину, охватывающую весь органический мир, начиная с любого вида.

Например, разные представители грызунов (сурки, суслики, мыши и др.), поедая десятки видов растений, сами идут в пищу крупным хищникам и множеству паразитов. Каждый из этих видов связан пищевыми отношениями со своим кругом жертв или потребителей, мёртвые остатки растений или животных также служат источниками пищи для множества других видов (моллюсков, червей, грибов, бактерий). В трофической сети нет ни начала, ни конца, так как каждый вид прямо или косвенно связан со многими.

Пищевые связи между организмами играют важную роль. Во-первых, они обеспечивают передачу органического вещества и заключённой в нём энергии от одного организма к другому. Вместе, таким образом, уживаются виды, которые поддерживают жизнь друг друга. Во-вторых, пищевые связи служат механизмом регуляции численности популяций в природе. Пищевые отношения между организмами стоят заслоном на пути чрезмерного размножения отдельных видов, что делает природные сообщества более устойчивыми, стабильными.

Типы взаимодействия видов. Среди способов добывания пищи различают *хищничество*, *паразитизм*, *собирательство* и *пастьбу*. Они различаются по затратам времени и энергии на получение пищи. Типичные *хищники* (волк, тигр, беркут и др.) тратят много сил на поиск и овладение живой добычей, которая сопротивляется или убегает, они убивают и съедают в течение жизни много жертв. *Собиратели* (воробьи, гуси, пчёлы) тратят энергию в основном на поиск и сбор добычи, которая не способна сопротивляться. *Паразиты* (аскарида, свиной цепень) живут в условиях избыточных пищевых ресурсов, используя хозяина и как место обитания. *Пасущиеся* животные питаются обильным кормом, который не приходится особенно искать и который легко доступен. Своеобразными собирателями являются фильтраторы и грунтоеды в водоёмах и почвах, а также насекомые-опылители (пчёлы, шмели).

Хищничество — это способ добывания пищи и питания животных, при котором они ловят, умерщвляют и поедают других животных. Иногда любую связь, при которой один вид поедает другой, в широком смысле слова называют связью «хищник — жертва», используя в этом случае слово *хищник* как синоним слова *поедатель*, даже если это относится к растительноядным организмам (слоны, бобры, зайцы).

Паразитизм — это способ питания за счёт питательных веществ другого организма (хозяина), причём последний от этого не погибает, но чувствует себя угнетённо. В мёртвом теле хозяина паразиты не живут. Имеются виды организмов, которые паразитируют на других организмах, но способны одновременно и сами добывать пищу. Такие организмы называют *полупаразитами*. Например, растения омела, марьянник, мытник, паразитируя на других растениях, одновременно сами осуществляют фотосинтез.

Хищничество и паразитизм являются примерами *полезновредных* связей между организмами.

В одну и ту же экологическую группу по способу питания могут попасть далеко не родственные виды. Например, собирателями являются грифы-падальщики, лесные мыши, воробьи, голуби, комнатная муха. Отфильтровывают пищу в водоёмах мелкие рачки-дафнии, двустворчатые моллюски, усатые киты, морские лилии. Жуки божьи коровки и их личинки в колониях тлей пасутся так же, как коровы на лугу, не тратя времени на поиск пищи. А хищные муха-ктырь и стрекоза-коромысло на лету догоняют добычу, как это делают, например, птица сокол в воздухе, а львы и гепарды на земле.

Взаимоневыгодным, или взаимовредным, типом связей между видами является ***конкуренция***. Этот тип отношений возникает, если разные виды существуют за счёт одного общего ресурса, когда его на всех не хватает.

Дело в том, что ресурсы, необходимые для жизни, в природе почти всегда ограниченны. Если вид встречает в своём местообитании конкурента, ему достаётся меньше ресурсов, и это отражается на возможности раз-

множения и на численности его популяции. Поэтому конкуренция неблагоприятна для обоих взаимодействующих видов. Жизнь каждого из них была бы лучше в отсутствие другого.

В природе часто встречаются взаимовыгодные связи, при которых организмы разных видов получают обоюдную пользу от этих отношений. К этой группе биотических связей относятся многообразные *симбиотические* отношения организмов. Обязательное условие подобных отношений — совместная жизнь, определённая степень сожительства организмов.

Самый простой тип взаимополезных связей — ***протокооперация*** (буквально: первичное сотрудничество). При этой форме совместное существование выгодно для обоих видов, но не обязательно для них. Примером таких отношений можно назвать распространение муравьями семян некоторых растений леса, опыление пчёлами разных растений. В этих случаях отсутствует необходимая тесная связь конкретной пары партнёров. Многие птицы кормятся на копытных, выбирая из их шерсти паразитов (рис. 97).

Симбиотические отношения, при которых наблюдается устойчивое взаимовыгодное сожительство двух организмов разных видов, называются ***мутуализмом*** (лат. *mutuus* — «взаимный»). Таковы, например, взаимоотношения рака-отшельника и актинии (рис. 98) или узкоспециализированных к опылению растений с опыляющими их видами насекомых (клевер и шмель). Кедровка, питающаяся только семенами (орешками) кедровой сосны, является единственным распространителем её семян. Мутуализм весьма широко развит в природе.

Собственно ***симбиоз*** (греч. *symbiosis* — «сожительство») — это неразделимые взаимополезные связи двух видов, предполагающие обязательное тесное сожительство организмов, иногда даже с элементами паразитизма.

Рис. 97. Пример протокооперации: птицы кормятся на теле зебры

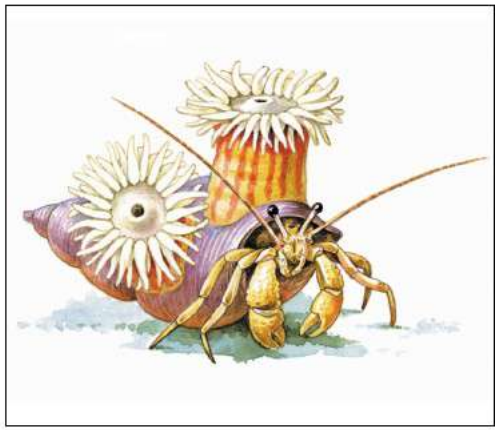


Рис. 98. Актиния на раковине, занятой раком-отшельником

Классическим примером симбиоза являются лишайники, представляющие собой тесное взаимовыгодное сожительство грибов и водорослей (или цианобактерий). Благодаря симбиозу лишайники достигли высокого видового разнообразия и получили способность жить в самых суровых условиях: в полярных областях, на голых скалах, на коре деревьев, в высокогорьях. Типичный симбиоз представляют отношения термитов и жгутиковых, живущих в их кишечнике. Эти простейшие производят фермент, разлагающий клетчатку на сахара. Термиты не имеют собственных ферментов для переваривания целлюлозы и без симбионтов погибли бы. А жгутиковые получают в кишечнике благоприятные условия среды и в свободном состоянии в природе не встречаются. Широко известный пример симбиоза — сожительство зелёных растений (прежде всего деревьев) и грибов (микориза).

Существуют и другие формы зависимости организмов друг от друга. ***Комменсализм*** — это *односторонние* связи, выгодные для одного из партнёров и безразличные для другого. Это может быть так называемое *нахлебничество* (питание остатками пищи другого вида, использование его выделений) либо *квартирантство* (обитание в норах или гнёздах без вреда для хозяина, размещение растений на стволах и ветвях деревьев).

Одностороннюю выгоду получают некоторые виды, используя других для расселения. Так, мелкие клещи, которые питаются в разлагающейся материи, расселяются на жуках или мухах, используя их в качестве живого транспорта. Семена и плоды многих растений имеют прицепки, что позволяет им путешествовать на шерсти животных. Человек, пробирающийся через заросли череды, также способствует распространению семян этого вида, когда вынужден затем обирать их со своей одежды.

Значение биотических связей. Все эти связи объединяют живую природу в единое целое. Без них невозможно формирование устойчивых сообществ. Наличие и переплетение разнообразных биотических связей в природе вызывает так называемые цепные реакции, когда в результате разрыва связей путём уничтожения или, наоборот, внедрения человеком отдельных видов может измениться всё сообщество. Поэтому так важно знать формы этих связей и их количественные характеристики.

1. В чём сходство и различия хищничества и паразитизма?

2. Эволюция хищника и жертвы происходит сопряжённо, т. е. коэволюционно. Наблюдается ли это в таких биотических связях, как паразитизм и комменсализм?

3. Какими путями избегают конкуренции птицы, обитающие в одном лесу?

4. Какие типы биотических связей вам довелось увидеть в природе родного края?

среднее число особей, приходящихся на условно выбранную единицу пространства, где их легко учесть (на квадратный метр, гектар или квадратный километр площади, на литр или кубометр воды и т. п.).

Очень важны для популяции *демографические* (греч. *demos* — «народ», «население» и *grapho* — «пишу») *показатели*: *рождаемость*, *смертность* и соотношение между ними, т. е. *выживаемость*. Они свидетельствуют о количестве особей в популяции, возможности её воспроизводства в данных экологических условиях и важны для предсказания судьбы конкретных популяций.

Большое значение в определении судьбы популяции имеет её *возрастная структура* (рис. 99). Состояние популяций сильно зависит от доли особей, приступивших к размножению, количества (много или мало) молодого пополнения, процента особей, закончивших размножаться, и т. п.

Например, если у растений большинство особей популяции в данных условиях проходят все стадии развития от рождения до смерти, то данная популяция считается нормальной и устойчивой. Если она представлена лишь в виде семян и проростков, а цветущих и плодоносящих особей мало или их нет вовсе, то мы имеем дело с популяцией внедряющегося типа. Если же, наоборот, большинство особей старые, уже не плодоносящие, то такая популяция является стареющей и в ближайшем будущем выпадет из биогеоценоза. При промысле животных и растений, сбережении редких видов в заповедниках, разведении видов в неволе, создании искусственных биогеоценозов очень важно следить за возрастной структурой популяций.

В характеристике популяции важна также её *пространственная структура*, т. е. отношения между особями в использовании простран-

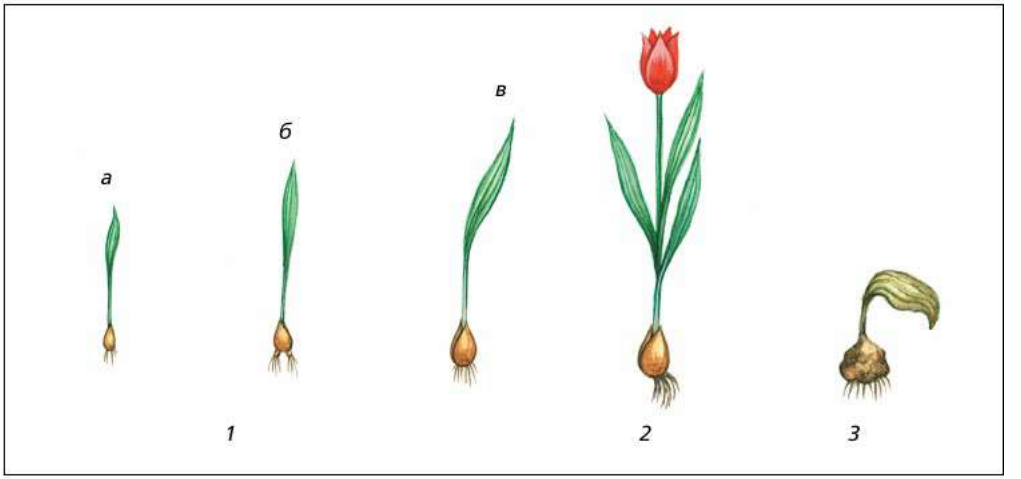


Рис. 99. Возрастные группы тюльпана разнолистного: *1* — проростки: *а* — 1 год, *б* — 2–4 года, *в* — 7–10 лет; *2* — взрослое растение; *3* — старое растение

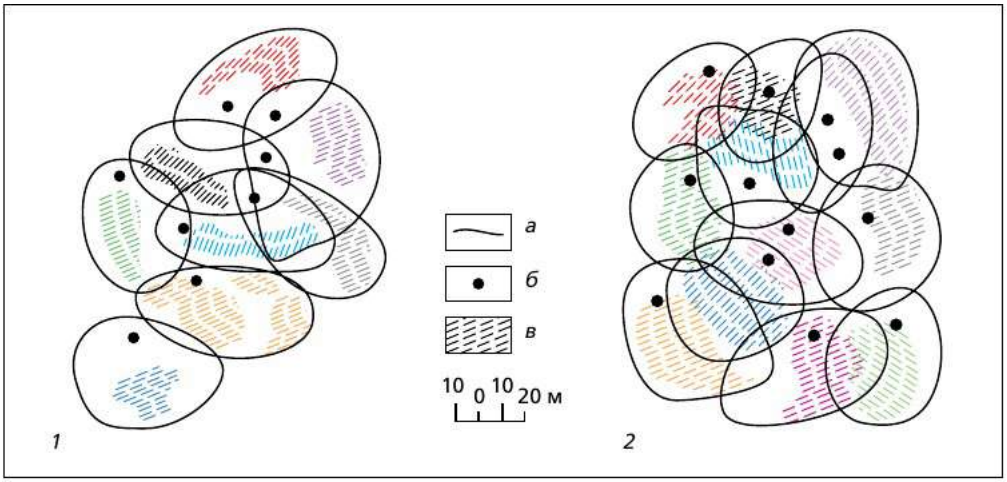


Рис. 100. Участки обитания взрослых сусликов в годы низкой *(1)* и высокой *(2)* плотности населения: *а* — границы участков; *б* — постоянные норы; *в* — предпочитаемые места кормёжки

ства. Это связано с ресурсами, необходимыми для жизни (рис. 100). На своей территории животное чувствует себя в относительной безопасности, так как хорошо знает, где укрыться и где искать корм.

Способы охраны участков у разных видов животных различны: это прямая агрессия, драки, но чаще просто агрессивные демонстрации и угрозы либо сигнализация (звуками, пением, как у птиц, или пахучими метками, как у псовых, соболей и других зверей). Кочующие животные также закономерно используют пространство; они регулярно перемещаются по обширным территориям знакомым им маршрутом и возвращаются на старые места по мере восстановления там использованных ресурсов.

Популяции животных различаются и по характеру взаимоотношений между особями. У некоторых видов все особи живут в одиночку, встречаясь лишь на период размножения (тигр, леопард, рысь, крот, ёж). У других видов популяции включают такие объединения, как семьи, стада, стаи или колонии, со своими сложными связями внутри них (волк, пингвины, зебры, суслики, ласточки-береговушки, грачи). Эти особенности характеризуют также и поведенческую, или *этологическую* (греч. *ethos* — «обычай», «нрав» и *logos* — «слово», «учение») структуру популяций.

Динамика численности популяции. Численность популяций чрезвычайно динамична. Её изменения отражают так называемые *динамические характеристики*, такие как рождаемость, смертность, вселение и выселение особей, численность, плотность, а также скорость роста популяции. При этом непременно учитывается некоторый период времени. Так, рождаемость — это число молодых особей, появившихся на свет за день, месяц

или год, а смертность — число погибших за этот же период. Рождаемость в популяциях зависит, с одной стороны, от особенностей вида, а с другой — от экологических условий. Максимальное число потомков, которое за жизнь могла бы произвести одна особь, получило название *суммарный коэффициент рождаемости*. Он у всех видов разный. Слониха рождает за жизнь всего пять-шесть слонят, а треска ежегодно мечет миллионы икринок. Жизненный (биотический) потенциал неодинаков и у различных популяций вида. Например, в Подмосковье серая полёвка кустарниково-лесной популяции обычно в одном помёте приносит пять-семь, иногда девять детёнышей, тогда как самка пашенной популяции той же серой полёвки рождает семь-девять (даже бывает 13) детёнышей.

Жизненный потенциал всегда выше у видов, для которых характерна высокая смертность, иначе они исчезли бы с лица Земли.

Слониха растит и оберегает слонят вместе со всем стадом, а треска пускает свою икру на волю волн, где основная масса её поедается или погибает. Особи пашенной популяции полёвки подвергаются массовой гибели во время уборки урожая и вспашки полей, чего не бывает в лесной популяции.

Соотношение рождаемости и смертности, а также вселения и выселения особей во многом определяет плотность популяции на занимаемой ею территории. В благоприятных условиях рост численности популяции особенно выражен при заселении новых, подходящих для размножения мест. Рост численности популяции в новом местообитании происходит у всех видов сходным образом. Теоретически численность популяции может расти неограниченно, увеличиваясь в геометрической прогрессии (рис. 101).

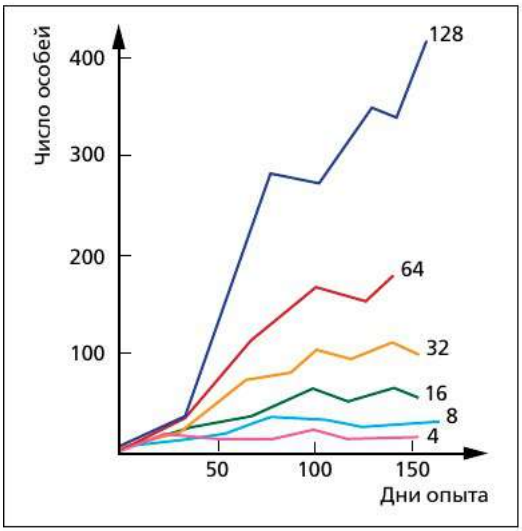


Рис. 101. Рост численности мучного хрущака в различных количествах муки (цифрами у кривых обозначено количество муки в граммах при температуре 27 °С)

Но на деле этого никогда не происходит, потому что каждое местообитание имеет ограниченные ресурсы для жизни популяций. Сумма этих ресурсов оценивается как *ёмкость среды*. Например, для лосей, которые питаются веточным кормом, лиственные леса с молодой порослью — более ёмкая среда, чем тёмные хвойные леса.

Регуляция численности популяции. Если численность популяции превысит ёмкость среды, начнётся массовая гибель особей. Поэтому реальный рост численности популяции идёт не беспредельно. Сначала он ускоряется, а затем начинает замедляться и постепенно прекращается. Подобная кривая роста характерна для популяций всех видов, от бактерий до человека. Уровень, на котором приостанавливается рост численности популяции, не всегда достигает ёмкости среды.

Сигналом приближающейся опасности «перепроизводства» популяции в данном местообитании служит рост её *плотности*. В этом проявляется одна из важнейших и удивительных особенностей живой природы — зависимость состояния популяции от собственной плотности. Эта зависимость отработана естественным отбором у каждого вида по-разному.

У растений с увеличением плотности усиливается внутривидовая конкуренция и происходит *самоизреживание*. У подвижных животных усиливаются *миграционные процессы*, т. е. выселение части особей на другие территории. Это происходит, например, у белок, леммингов. Перелёты стадной саранчи огромными тучами — тоже выселение за пределы мест размножения.

Численность популяций всегда находится под двойным контролем: собственной плотности и воздействия различных врагов — хищников, паразитов и конкурентов.

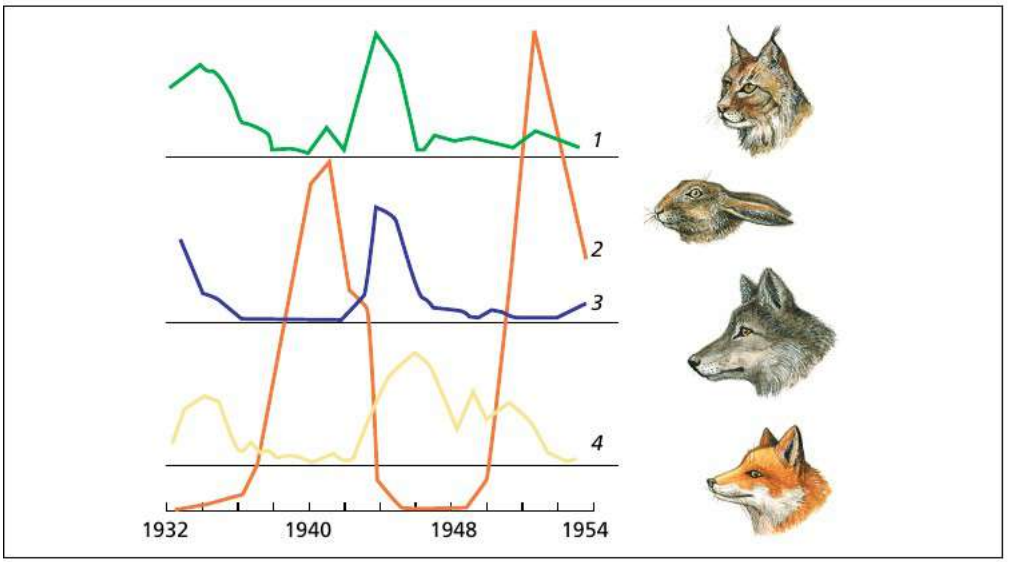


Рис. 102. Колебания численности зайцев и хищников (по данным пушных заготовок центральных районов европейской части бывшего СССР с 1932 по 1954 г.):
1 — рысь; *2* — заяц; *3* — волк; *4* — лисица

Если численность популяции жертвы возрастает, хищники ловят больше добычи и тем сдерживают дальнейший рост данной популяции. Это особенно хорошо видно на примере сопоставления колебания (динамики) численности популяций хищника и жертвы (рис. 102). Если же популяция жертвы размножается быстрее, чем её могут истреблять хищники, это становится выгодным для паразитов и возбудителей инфекционных заболеваний, которые могут снизить численность популяции жертвы.

Снижение численности популяции жертвы вскоре приводит к снижению численности популяций хищника и паразитов, а в итоге — к сохранению данной популяции жертвы, возможности её дальнейшего существования и развития в природе.

Как видим, популяция представляет собой не просто сумму особей вида, а сложную надорганизменную живую систему. Популяция как биосистема по сравнению с отдельно взятыми особями обладает рядом специфических свойств. Эти свойства обусловлены наличием различных связей между членами популяции и особенностями конкретного вида. Популяции многих видов обладают способностью к регуляции своей численности.

?

1. Какое значение для популяции имеет ёмкость среды?
2. Объясните, почему выживают популяции с низкой рождаемостью.
3. Как по демографическим показателям популяции можно судить о перспективах её существования в данном биогеоценозе?
4. От чего зависят внутривидовые отношения в популяции?

§ 53

Природное сообщество — биогеоценоз

Вспомните

- какие показатели характеризуют состояние популяции в природе;
- какие факторы влияют на численность популяций.

Понятие о биогеоценозе. На любом участке земной поверхности имеются разнообразные организмы, которые, живя вместе, образуют единый комплекс — ***природное сообщество***. Напомним, что природное сообщество представляет собой совокупность растений, животных, бактерий, грибов и условий окружающей их среды на какой-то конкретной территории. Эту устойчивую совокупность живых организмов и условий среды их обитания российский учёный-ботаник В.Н. Сукачёв назвал ***биогеоценозом*** (греч. *bios* — «жизнь», *ge* — «земля» и *koinos* — «общий»).

Биогеоценоз — это важная функциональная единица живой природы, многовидовая биосистема, в которой осуществляется тесное взаимодействие двух её значимых и сложных структурных частей: комплекса живых организмов — ***биоценоза***, или ***сообщества***, и комплекса условий внешней среды — ***биотопа*** (греч. *bios* — «жизнь» и *topos* — «место»), во многом созданного самим живым населением.

Биоценоз, или **сообщество**, — это устойчивое сожительство, но не видов, а их популяций. Именно с помощью популяций виды осваивают разнообразные условия своего ареала. Но для простоты, рассматривая население биогеоценозов, часто говорят о видах, а не об их популяциях. Все члены биоценоза обладают приспособленностью к совместной жизни и к данным природным условиям — биотопу. Состав популяций (видов) в биоценозе обычно бывает не случайным, его определяют возможности биотопа для непрерывного поддержания потока веществ (между обитающими здесь организмами разных видов и средой), обеспечивающего устойчивое существование этой многовидовой биосистемы.

Для членов биоценоза особенно важна биотическая среда, т. е. те виды организмов, которые оказывают своей жизнедеятельностью влияние на другие организмы. Прежде всего, это обеспечение пищей через прямые или косвенные связи. Даже для растений условия их минерального питания зависят от активности многих видов почвенной микрофлоры, животных, грибов и бактерий, разлагающих опавшие листья, тела умерших животных и др.

Не менее значимой для членов сообщества является *средообразующая деятельность* различных видов, благодаря чему условия биотопа меняются в сторону, благоприятную для других видов. Особенно большую роль играют древесные и травянистые виды растений. Они создают особую среду: уменьшают силу ветра, меняют микроклимат, образуют тень, выделяют кислород и испаряют влагу, обеспечивают питанием насекомых, птиц, зверей, формируют слой опада. Всё это делает возможным существование многих видов, которые иначе не смогли бы прижиться на данной территории. В еловом лесу, например, самый сильный средообразователь — ель, на болотах — мхи, в степях — травы, образующие плотный дёрн (ковыль, типчак и др.).

Иногда основными средообразователями выступают животные. Так, в степных биогеоценозах сурки, суслики и песчанки роют норы, что ведёт к изменению и состава растительности, и влажности почв, и всего микрорельефа. Микроклимат нор позволяет обитать в них многим видам насекомых, пауков, ящериц и других животных. Коралловые полипы в тропических морях строят рифы и тем самым создают условия для жизни сотен видов морских животных и растений.

Ярусное строение биогеоценоза. Состав любого биогеоценоза зависит от конкурентных отношений. В биогеоценозе обычно уживаются только те виды, которые по-разному используют сходные ресурсы. Это наглядно

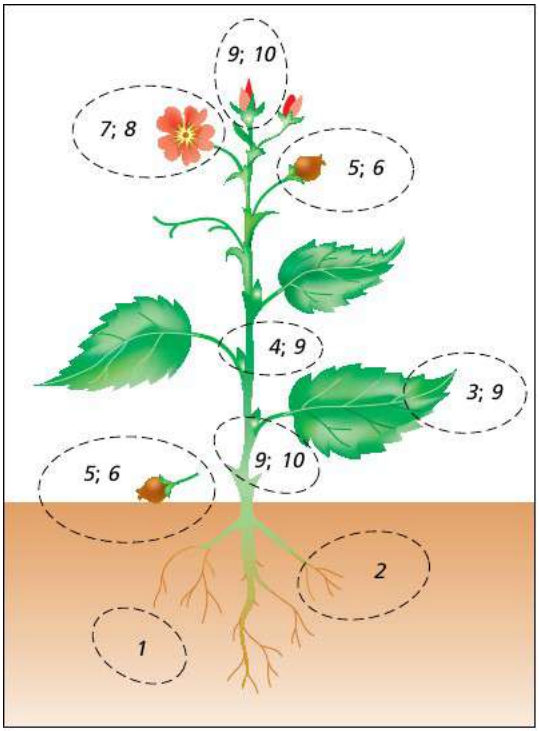


Рис. 103. Экологические ниши популяций видов, специализирующихся на цветковом растении: *1* — корнееды; *2* — эккрисотрофы (питающиеся выделениями из корней); *3* — листоеды; *4* — стволоеды; *5* — плодоеды; *6* — семяеды; *7* — цветкоеды; *8* — пыльцееды; *9* — сокососы; *10* — почкоеды

проявляется, например, в ярусном строении лесного сообщества. Деревья, кустарники, травы занимают различное пространство (ярусы). Высокие деревья занимают верхний ярус, кустарники — средний, а травы — нижний ярус. Соответственно по ярусам размещаются и связанные с растениями животные: в кронах верхнего яруса — птицы, белки, насекомые, пауки, а в нижнем ярусе — зайцы, ежи, лисы, муравьи, жабы, улитки и др.

Листья растений разных видов, располагаясь на разных высотах, поглощают солнечные лучи, из-за чего световой поток по мере прохождения сквозь кроны деревьев и кустарников лесного сообщества значительно теряет свою интенсивность. Поэтому самые светолюбивые виды деревьев занимают первый (верхний) ярус, а теневыносливые располагаются в самом нижнем, приземном ярусе. При таком ярусном строении в биогеоценозах размещается много видов, они не мешают друг другу и не конкурируют между собой.

Многочисленные животные в биогеоценозах обычно избегают конкуренции, переходя на разные виды пищи, собирая её в разных местах, разными способами или в разное время суток, разграничивая места размножения, кормления и убежищ.

Биогеоценоз способен вместить столько видов, сколько способов разграничения ресурсов они используют.

Экологические ниши. Каждый вид играет в биогеоценозе свою роль и занимает своё место. Это положение вида называют ***экологической нишей***. Она отражает функциональное участие вида в биогеоценозе, его роль в живом окружении, отношениях с другими видами (рис. 103).

Многообразие экологических ниш в биогеоценозе свидетельствует о ёмкости биотопа, о наличии в нём ресурса, который был использован тем или иным видом.

Живущие вместе виды обычно специализируются на использовании того или иного ресурса, но каждый из них при отсутствии конкурента способен на большее. Обычно два вида при одной экологической нише не уживаются. Возможно лишь частичное перекрывание экологических ниш, когда виды разграничиваются по основным ресурсам, но совпадают по некоторым дополнительным. Разделение совместно живущими видами экологических ниш с их частичным перекрыванием — одна из причин устойчивости природных биогеоценозов.

Если какой-либо из видов резко снижает свою численность или выпадает из состава биогеоценоза, его роль берут на себя другие. Поэтому улучшение условий жизни или удаление из биогеоценоза другого вида, близкого по экологическим требованиям, приводит к увеличению численности оставшихся видов. Оказывается, чем больше видов в составе биогеоценоза, тем ниже их численность и сильнее выражена их экологическая специализация, и наоборот. Поэтому уменьшение видового разнообразия в биогеоценозе грозит резким увеличением (вспышкой) численности отдельных оставшихся видов.

Это очень важное экологическое правило имеет непосредственное отношение к деятельности человека. В искусственных посадках (еловых, сосновых) часто наблюдается массовое размножение таких насекомых-вредителей, как сосновая пяденица, сосновая совка, короед, древесинник и др. Виды, называемые вредителями сельского или лесного хозяйства, размножаются в большом количестве именно из-за выпадения из состава биогеоценоза их врагов и конкурентов. Таким образом, к массовому появлению вредителей часто приводит деятельность самого человека.

Пищевые связи в биогеоценозе. Пищевые взаимоотношения между организмами в биогеоценозе создают сложный комплекс, объединяющий все популяции видов в единое целое. Благодаря пищевым связям происходит движение биогенных веществ и заключённой в них энергии между средой и популяциями видов. Напомним, что биогенными называют химические элементы, входящие в состав всех организмов и необходимые для их жизнедеятельности.

Поток веществ и энергии всегда идёт через ряд организмов в процессе их поедания друг другом как пищи. Пути, по которым идёт постоянный поток веществ и энергии, заключённой в них, называют ***пищевыми*** (*трофическими*) ***цепями*** или ***цепями питания***.

Цепь питания — последовательный ряд живых организмов, в котором каждый предыдущий служит источником пищи для последующего. По цепям питания идёт передвижение веществ и энергии в биогеоценозе.

Растения, синтезирующие органические вещества и энергию солнечного света, поедаются травоядными животными, те, в свою очередь, служат пищей плотоядным животным — хищникам, которые тоже могут служить пищей и более крупным хищникам, и паразитам. При передаче энергии от звена к звену значительная часть энергии (80–90 %) теряется в виде тепла, поэтому цепи питания обычно содержат лишь четыре-пять звеньев.

Различают два типа цепей питания. Первый — на основе потребления пищи от живых организмов. Это — ***цепь выедания***, или ***пастбищная цепь***, начинается с фототрофного организма (например, растения) и заканчивается хищником (и паразитом).

Листья ивы → тля → божья коровка → синица → ястреб перепелятник

Второй тип — ***цепи разложения***, или ***детритные цепи***, начинаются от детрита (разлагающихся органических останков). Детрит (например, опавшие листья), частично переработанный микроорганизмами, потребляют так называемые детритофаги (дождевые черви, слизни и т. д.).

Опавшие листья ⟶ бактерии (или грибы, дождевые черви)

Все цепи питания обычно тесно переплетаются между собой и создают общую ***сеть питания***, которая может охватить весь биогеоценоз.

Биогеоценоз имеет сложную, но вполне закономерную трофическую структуру, поддерживающую численное соотношение видов в нём.

Не все виды одинаково важны в составе биогеоценоза. В каждой группе организмов в составе биоценоза (растений, грибов, бактерий, насекомых, червей, птиц и млекопитающих) есть как массовые, многочисленные виды, так и редкие, малочисленные. Они играют разные роли. Массовые виды составляют основу, костяк любого природного сообщества. Они определяют его облик, поддерживают главные связи, в наибольшей мере создают условия местообитания. Такие виды называют *доминантами*. Так, в ельнике зеленомошном, как и следует из его названия, в первом ярусе доминантом является ель, а в приземном доминируют зелёные мхи. Среди птиц в таком ельнике преобладают пеночки, синицы, среди мелких грызунов — рыжая полёвка. Биологи обычно называют типичные биогеоценозы по доминирующим видам растений: сосняк-черничник, ельник-кисличник, березняк волосистоосоковый, степь ковыльная и т. п. В каждом биогеоценозе доминируют определённые виды животных.

Знание особенностей видов и закономерностей совместного их существования в сообществе даёт возможность поддерживать природные био-

геоценозы и грамотно создавать искусственные биогеоценозы, нужные человеку.

1. Раскройте смысл понятия «экологическая ниша».
2. Каким образом трофические связи влияют на устойчивость биогеоценоза?
3. Охарактеризуйте роль ярусного размещения видов в биогеоценозе.
4. Как вы понимаете выражение «средообразующая роль вида»?

§ 54

Биогеоценоз, экосистема и биосфера

Вспомните

- значение ярусного строения для природного сообщества;
- что называют экологической нишей.

Биогеоценоз и экосистема. Каждый живущий организм связан с окружающей средой потоками вещества и энергии, проходящими через его тело. Потребляя и выделяя вещество и энергию, живые организмы влияют на среду своего обитания уже тем, что живут. Результаты жизнедеятельности каждого отдельного существа могут быть невелики и малозаметны. Но все вместе они сливаются в мощную силу, преобразующую земную поверхность. Выдающийся отечественный учёный-естествоиспытатель, создатель ряда наук о Земле и учения о биосфере В.И. Вернадский писал, что на Земле нет силы более могущественной по своим последствиям, чем живое вещество, как он назвал все живые организмы, взятые в целом.

Владимир Иванович Вернадский (1863–1945)

В биогеоценозах все популяции связаны друг с другом сложной пищевой сетью. Энергия поступает в организмы животных из растений, которые черпают запасы вещества и энергии из неживой природы. В итоге любой комплекс организмов (биоценоз) представляет некое единство со своими условиями обитания (биотопом). Созданную таким единством целостную систему «биогеоценоз» называют также ***экосистемой***.

В названии «биогеоценоз» подчёркивается тесная взаимосвязь комплекса («ценоз») живых («био-») и неживых («гео-») компонентов на определённом

участке земной поверхности. В названии «экосистема» подчёркивается функциональная взаимосвязь комплексов неживой и живой природы без привязки к какой-либо территории и её размеру (океан, пруд, лес, степь и т. п.). При этом оба термина обычно используют как синонимы. Водные природные сообщества чаще называют экосистемами, а сухопутные — биогеоценозами.

Организованная в биогеоценозы (экосистемы) жизнь на Земле продолжается уже миллионы лет, не прерываясь. Экосистемы бывают разных масштабов, наземные и водные: пруд с его обитателями, озеро, море, океан, небольшой лес, целая тайга, степь, пустыня — всё это природные экосистемы, или биогеоценозы. Аквариум, сад, пшеничное поле — экосистемы, или биогеоценозы, созданные человеком.

Биогеоценозов (экосистем) на Земле очень много. Их главным признаком выступает постоянный, частично замкнутый *круговорот веществ* и *поток энергии* между живыми организмами и средой их обитания. Из-за ведущей роли живых организмов в круговороте веществ его стали называть ***биологическим круговоротом***.

Биологический круговорот веществ является главным условием существования экосистемы (биогеоценоза).

Структура биогеоценоза и экосистемы. Целостность и устойчивое существование биогеоценоза (экосистемы) во многом зависит от видов, входящих в его состав. По роли, выполняемой в биогеоценозах, все виды разделяют на три группы. Одну группу представляют ***продуценты*** (лат. *producens* — «создающий»), или ***создатели*** органического вещества. К продуцентам относятся автотрофы, преимущественно фотосинтезирующие зелёные растения, обладающие уникальной способностью из неорганических соединений создавать сложные органические вещества и запасать в их химических связях солнечную энергию.

Другую группу составляют ***консументы*** (лат. *consumo* — «потребляю»), или ***потребители***. Консументы — это гетеротрофы, представленные большим разнообразием животных, потребляющих готовые органические вещества живых организмов. В третью группу входят ***редуценты*** (лат. *reductio* — «возвращение»), или ***разлагатели***. Редуценты — это тоже гетеротрофы, но они способны перерабатывать органические вещества мёртвых тел и различные отходы живых организмов, разрушая их до простых неорганических соединений. В роли редуцентов выступают по преимуществу бактерии, а также грибы и некоторые животные (простейшие).

Именно благодаря такой функциональной неоднородности живых организмов и возникла целостность биогеоценоза как биосистемы и экосистемы. В итоге в структуре биогеоценоза (экосистемы) можно наблюдать четыре тесно взаимодействующих компонента: абиотическую среду (минеральные вещества и солнечная энергия), продуцентов, консументов и редуцентов, выступающих как звенья единой системы — круговорота ве-

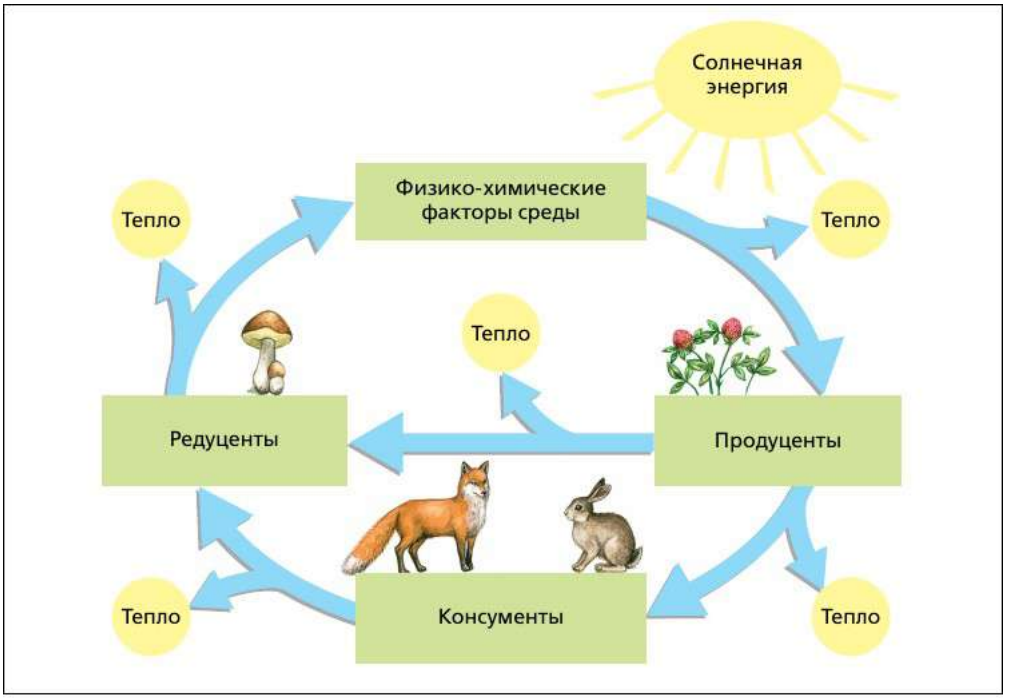


Рис. 104. Основные структурные компоненты экосистемы. Факторы неживой природы и группы организмов связаны между собой круговоротом веществ и потоком энергии

ществ и потока энергии (рис. 104). Поэтому биосферу тоже называют экосистемой — глобальной экосистемой.

Совместная деятельность этих разных по экологическим функциям групп организмов и служит двигателем биологического круговорота веществ в биогеоценозе (экосистеме).

Биогеоценозы (экосистемы) устойчивы лишь в том случае, когда все четыре компонента, входящие в их состав, поддерживают круговорот веществ достаточно полно.

Круговорот веществ и поток энергии поддерживается в биогеоценозах (экосистемах) постоянным притоком солнечной энергии и неорганических веществ. Согласно закону сохранения энергии она не исчезает бесследно, а лишь переходит из одной формы в другую, расходуясь на жизнедеятельность организмов. Усвоенная организмами энергия постепенно переходит в тепловую форму и рассеивается в окружающем пространстве. Так энергия постепенно уходит из экосистемы. В итоге круговорота энергии в экосистемах нет, а есть поток энергии. Деятельность круговорота веществ и потока энергии в экосистемах можно сравнить с круговым враще-

нием мельничного колеса (многократный круговорот химических веществ) в потоке воды (поток энергии) (рис. 105).

Из множества связанных друг с другом круговоротов разных биогеоценозов складывается установившийся за многие миллионы лет глобальный биологический круговорот веществ биосферы, поддерживающий устойчивость жизни на планете. В результате все экосистемы суши и океана оказываются связанными в единую глобальную экосистему — ***биосферу***.

Рис. 105. Водяная мельница как модель круговорота веществ и потока энергии в экосистеме

Учение о биосфере. В.И. Вернадский разработал учение, которое характеризует биосферу не только как область распространения жизни на Земле, но и как часть планеты, целиком преобразованную жизнью. Биосфера охватывает всю гидросферу, верхнюю часть литосферы и нижнюю часть атмосферы. Границы биосферы определяют условия, которые обеспечивают возможность существования жизни, следовательно, одновременно они служат и границами распространения жизни на Земле.

В своём учении, которое он изложил в 1926 г. в книге «Биосфера», Вернадский рассматривал биосферу как единую систему планетарного, космического характера, важной особенностью которой и главной геологической силой является жизнь — «живое вещество», не просто населяющее биосферу, а преобразующее облик Земли.

В биосфере учёный выделял четыре функционально разных «вещества»: 1) *живое вещество* — совокупность всех живых организмов; 2) *биогенное вещество* — совокупность всех природных объектов, возникших в результате жизнедеятельности организмов (кислород атмосферы, уголь, нефть, торф, мел, железные руды, сера); 3) *косное вещество* — все компоненты неживой природы, сформированные без участия живых организмов (воздух, вода, свет, базальт); 4) *биокосное вещество* — совокупность продуктов, возникших от взаимодействия жизнедеятельности организмов и косных объектов (почва, ил, горючие сланцы).

В.И. Вернадский особенно большое внимание уделял *роли живого вещества в биосфере*. Он определил особенности свойств и функции живого вещества. В качестве особенностей живого вещества Вернадский называет следующие: живое вещество проявляется в биосфере как физико-химическое единство; все химические реакции в живом веществе протекают

значительно быстрее, чем в других веществах планеты; в возникших химических связях живого вещества заключено огромное количество солнечной энергии, чего нет в косном веществе; живое вещество, в отличие от косного, увеличивает и накапливает биологическую массу и изменяет среду, делая её более пригодной для жизни.

Важнейшими функциями биосферы Вернадский называет: *газовую* (современный газовый состав атмосферы обусловлен деятельностью живых организмов); *геохимическую*, или *окислительно-восстановительную*, вовлекающую химические элементы Земли в живые организмы и возвращающую их в процессе обмена веществ и биологического круговорота снова в окружающую среду; *концентрационную* — избирательное накопление химических элементов для построения тел живых существ, благодаря чему произошло накопление залежей полезных ископаемых, известняков, нефти, углей; *транспортную* — перенос вещества против силы тяжести (по вертикали вверх, например с ростом растений) и в горизонтальном направлении (путём «растекания»).

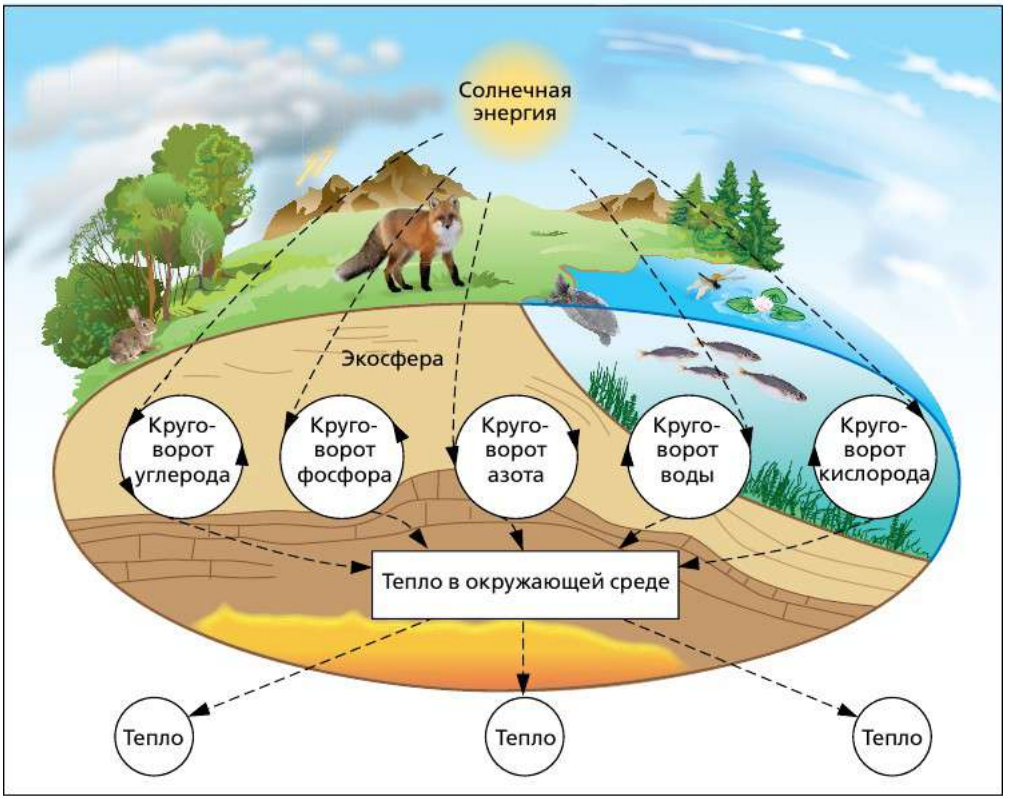


Рис. 106. Важнейшие круговороты веществ и потоки энергии в биосфере

В ходе эволюции биосферы функции живого вещества не изменились.

Вернадский считал, что круговороты важнейших биогенных элементов в биосфере создаются организмами. Благодаря им химические вещества оболочек Земли попеременно переходят из неживой природы в живое вещество, а из живого вещества вновь в неживую природу. Поэтому биосферу называют также ***глобальной экосистемой***. Биологический круговорот зародился с момента появления первых организмов (протобионтов) и продолжается уже в течение миллиардов лет. Так поддерживается жизнь и существование биосферы (рис. 106).

Биосфера — закономерный продукт эволюции планеты, высший уровень организации жизни. Она включает в себя множество живых систем более низких уровней организации (организмы, популяции, биогеоценозы). Биосфера — арена жизни и хозяйственной деятельности человека.

1. Как соотносятся между собой понятия «биоценоз», «экосистема» и «биогеоценоз»?
2. Что является главным условием существования экосистемы?
3. Может ли один и тот же вид входить в разные цепи питания?
4. Почему в пищевой сети нет конца и начала, а в пищевых цепях — есть?

§ 55

Смена биогеоценозов и её причины

Вспомните

- главные структурные компоненты биогеоценоза (экосистемы);
- какое значение в биосфере имеют круговорот веществ и поток энергии.

Понятие о смене биогеоценозов. Наблюдая какой-либо биогеоценоз в течение ряда лет, можно заметить, что он не остаётся одинаковым: со временем в нём меняются условия обитания, его заселяют новые виды, изменяются его строение и особенности взаимоотношений между видами. В результате на данной территории биогеоценоз становится другим. В этом случае говорят, что произошла смена одного биогеоценоза другим.

Смена биогеоценоза — это замена одного природного биогеоценоза качественно иным биогеоценозом.

кие биогеоценозы существуют недолго. Кроме того, во временное сообщество из соседних территорий, как правило, начинают вселяться новые виды, среди которых оказываются более сильные средообразователи, например ель. Они коренным образом меняют условия существования в биотопе. При этом и молодые, и взрослые особи вновь вселившихся видов оказываются способными хорошо развиваться, давать семена и надолго удерживать данную территорию. Так, в течение нескольких лет на месте мелколиственного леса, например березняка или осинника, появляется еловый лес. В этом случае говорят, что сформировался *устойчивый*, или ***коренной***, биогеоценоз (рис. 107).

Коренные биогеоценозы (и некоторые водные экосистемы) со сбалансированным круговоротом веществ могут существовать бесконечно долго, пока внешние силы не выведут их из равновесия. И действительно, темнохвойная тайга, ковыльные степи, широколиственные дубравы, торфяные болота занимали свои места тысячелетиями по окончании последнего оледенения. И лишь деятельность человека за одно последнее столетие изменила эти ландшафты.

Изменение растительного покрова в биогеоценозе всегда ведёт за собой смену не только сообщества растений, но и всего живого населения биогеоценоза.

Саморазвитие биогеоценозов. Развитие биогеоценоза происходит не так, как развитие организма. Рост и усложнение организма определяются его наследственностью, т. е. заложенными в зиготе генами. Биогеоценозы возникают по-другому. Они формируются на основе случайного (самопроизвольного) состава видов, из прибывших видов, имеющихся в окружающей среде и способных совместно существовать в данных условиях. Возникающий таким путём состав видов недолговечен и вскоре меняется, так как он не способен поддерживать должный круговорот веществ. Процесс изменений идёт до тех пор, пока не установится комплекс видов, способный поддерживать сбалансированный круговорот веществ. Обычно это происходит путём целого ряда смен биогеоценозов, идущих одна за другой, на протяжении длительного времени. Такой процесс саморазвития коренного биогеоценоза называют ***сукцессией*** (лат. *successio* — «преемственность»).

Сукцессия — это процесс, длящийся многие десятки и сотни лет.

Сукцессии могут быть *первичными* и *вторичными*, т. е. восстановительными.

Первичные сукцессии. Первичные сукцессии начинаются с заселения обнажённых участков территории — осыпей, отмелей, голых скал, сыпучих песков или отвалов, созданных человеком. Эти безжизненные участки сначала занимают виды, которые способны быстро расселяться. Заносятся ветром и водой их семена и споры, прилетают насекомые, забегают мелкие

грызуны, и некоторые из них приживаются на данном участке. Биогеоценозы (экосистемы), которые возникают из таких случайных видов, называют ***пионерными***. Они, как правило, малоустойчивы, а их виды, успев частично изменить среду, вскоре вытесняются новыми вселенцами.

На пионерной стадии сообщество не сбалансировано. В нём ещё не сформировались сложные цепи питания, не заняты все экологические ниши, растительная продукция не полностью используется консументами, редуцентами и накапливается в экосистеме, главным образом в почве. Новые виды, поселившиеся здесь, тоже изменяют среду, делая её малопригодной для себя, и потому вскоре вытесняются конкурентами. В результате происходит очередная замена одного биогеоценоза качественно другим. Возникающие на этом этапе биогеоценозы называют *незрелыми* или *временными*.

Постепенно, по мере внедрения популяций других видов, сообщество становится всё более устойчивым. В нём нарастает видовое разнообразие, происходит всё большее наполнение сообщества представителями разных жизненных форм и расхождение видов по экологическим нишам и ярусам, ослабляется конкуренция, увеличивается значение взаимовыгодных отношений. В сообществе накапливается всё больше видов с длительными циклами развития. Многочисленные паразиты и хищники регулируют количество своих жертв, не допуская вспышек их численности. Вся продукция, созданная растениями, идёт на поддержание огромной армии животных, грибов и бактерий. В одних цепях питания перерабатываются живые части растений и животных, в других — мёртвая органическая масса. Оба процесса уравновешивают друг друга и образуют круговорот веществ. Такой биогеоценоз оказывается сложным и устойчивым, потому что изменения, вызываемые одними видами, компенсируются деятельностью других. Такие экосистемы называют *зрелыми* (*конечными*, *коренными*).

Круговорот веществ в зрелых биогеоценозах сбалансирован.

Вторичные сукцессии. Вторичные, или *восстановительные*, сукцессии начинаются после частичного разрушения экосистем, например после лесного пожара, рубки леса, вспашки целины. В этих случаях уничтожаются не все элементы биогеоценоза, остаётся ранее сформированная живыми организмами почва, сохраняются семена, корневища, споры, выживают некоторые виды животных, грибницы грибов, бактерии. Поэтому восстановительные сукцессии протекают несколько иначе и быстрее, чем первичные, но тоже приводят к формированию стабильных, коренных биогеоценозов.

Сукцессия — это последовательный ряд смен одного биогеоценоза другим на определённом участке земной поверхности

Значение знаний о смене биогеоценозов. Понимание законов сукцессий важно для многих сторон деятельности человека. Следует знать, что биогеоценоз не может одновременно быть устойчивым и накапливать при этом избыток первичной продукции, что имеет место, например, в искусственных экосистемах. Создавая поля, сады и огороды, надо понимать, что они крайне неустойчивы и требуют постоянной поддержки человека: вспашки, удобрения, полива и т. п. Эта неустойчивость проявляется и во вспышках численности вредителей, и в атаках сорняков, и в эрозии почв, и в снижении урожая в связи с исчерпанием запасов минеральных соединений. Если на следующий год не засеять поле вновь, оно в ходе сукцессии преобразуется в пустошь, а затем в луг или кустарниковые заросли.

1. В чём заключается значение коренных биогеоценозов в природе?
2. По каким причинам происходит смена биогеоценозов?
3. Подумайте и ответьте на вопросы.
   - Обеднеет или обогатится природа, если предположить, что все неустойчивые сообщества будут заменены устойчивыми?
   - Чем выгодны для человека незрелые сообщества?

§ 56

Многообразие биогеоценозов (экосистем)

Вспомните

- основное отличие временных биогеоценозов от коренных;
- какие биогеоценозы называют устойчивыми.

Всё многообразие биогеоценозов Земли можно разделить на две группы — водные и наземные. Водные обычно называют гидроценозами (греч. *hydor* — «вода» и *koinos* — «общий») или водными экосистемами, гидроэкосистемами, а наземные — биогеоценозами.

Водные экосистемы. Океаны и моря с их бассейнами рек и озёр занимают около 70 % земной поверхности. Живые существа, возникшие в водной среде, за период многих миллионов лет в своём развитии достигли очень большого разнообразия жизненных форм, способов питания и мест в структуре экосистем.

Основные абиотические факторы, действующие на обитателей водных экосистем, — это волны, отливы, приливы, течения, а также свойства самой воды (солёность, прозрачность, температура, насыщение газами). Для глубоководных обитателей большое значение имеет давление воды; для

фотосинтетиков очень важна интенсивность освещения. Все эти факторы в значительной степени определяют видовой состав экосистемы.

Главной особенностью водных экосистем выступает то, что жизнь их организмов прежде всего определяется свойствами воды, т. е. абиотическими факторами среды.

Морские экосистемы. Пищевые цепи в морских экосистемах вблизи вблизи поверхности воды формируются среди планктона, состоящего из мелких, взвешенных (парящих) в воде организмов: водорослей и цианобактерий (фитопланктон), а также мелких животных (зоопланктон) (см. рис. 96, § 50).

Фотосинтезирующий фитопланктон служит пищей многим мелким планктонным животным, которых, в свою очередь, поедают крупные, активно плавающие рыбы и киты. Тела погибших организмов, образующих этот верхний слой, падают на дно океана, где обеспечивают пищей других существ, входящих в экосистемы бентоса (греч. *benthos* — «глубина»). В экосистемах бентоса находятся главным образом животные и бактерии, которые перерабатывают попавшие на дно органические вещества.

Экосистемы открытой части океанов и морей характеризуются огромными размерами и наличием достаточно тесных связей с соседними экосистемами. Они, как коренные, относительно устойчивы в геологическом масштабе времени и отличаются эволюционной древностью, что обусловлено достаточно медленными общими изменениями геологического строения океана, атмосферной и океанической циркуляции воздуха и вод и составом видов живого населения.

Экосистемы пресных вод. Реки, в отличие от озёр и прудов, характеризуются направленностью течения вод. Именно этот фактор доминирует над всеми другими, влияющими на растительный и животный мир. В озёрах и прудах, в отличие от рек, довольно быстро накапливаются осадки (от промышленных загрязнений, сброса сельскохозяйственных и бытовых сточных вод). Для озёр и прудов характерна *эвтрофикация* — насыщение вод большим количеством биогенных элементов, главным образом азота и фосфора. Увеличение концентрации органических веществ приводит к ухудшению качества воды, уменьшению её прозрачности и содержания в ней кислорода, к «цветению» воды, замору рыб и других обитателей водоёма.

Эвтрофикация приводит также к увеличению донных осадков и уменьшению толщи воды в водоёме. Всё это неизбежно приводит к потере устойчивости водной экосистемы.

Угроза накопления загрязнений актуальна и для океана, и для всех морей, озёр и водохранилищ.

Наземные экосистемы. Главной особенностью наземных экосистем является то, что жизнь их организмов прежде всего определяется самим живым населением, т. е. биотическими факторами среды.

Наземные биогеоценозы обычно делят на *древесные* и *травянистые*. К древесным относят различные лесные биогеоценозы (экваториальные дождевые, тропические листопадные, мангровые, субтропические, хвойные холодной зоны, широколиственные, мелколиственные, смешанные леса умеренного климата и др.), к травянистым — степи, прерии, луга и болота.

Всё разнообразие биогеоценозов развивается в определённых почвенно-климатических условиях, и, как коренные, они существуют на Земле длительное время. Их называют ***естественными*** или ***природными***, так как они возникли естественным путём (сами по себе) в процессе длительных вековых смен на конкретных территориях в единстве с условиями внешней абиотической среды.

Наряду с естественными существуют разнообразные биогеоценозы, созданные усилиями человека. Это различные сады, поля, парки, плантации, оранжереи, газоны и лесопосадки. Биогеоценозы, созданные человеком, называют ***культурными*** или ***искусственными***. Биогеоценозы, занятые посевами или посадками культурных растений, часто называют ***агробиоценозами*** (греч. *agros* — «поле» и биоценоз), *агроэкосистемами* или *агроценозами*.

Культурные биогеоценозы. В отличие от естественных биогеоценозов, в культурных человек по своему усмотрению создаёт определённый видовой состав, определяет численность видов и плотность их размещения. Человек контролирует типы взаимодействия между видами, условия их обитания — обеспечение влагой, минеральными веществами, производит обработку почвы (рыхление, вспашка, прополка и пр.). Создавая благоприятные условия возделываемому виду, человек подавляет другие, ненужные ему виды (сорняки, фитотрофное население). Смена культурного биогеоценоза тоже происходит по воле человека.

Агробиоценозы — наиболее широко распространённые культурные экосистемы.

Агробиоценозы человек обычно создаёт для возделывания одного вида культурного растения (пшеница, рис, рожь, свёкла, хлопок, лён, картофель). Реже практикуют смешанные посевы (овёс с горохом, кукуруза с бобами, клевер с тимофеевкой). На практике же в такое сообщество входят и другие виды (бактерии, почвенные грибы, водоросли, простейшие, черви, насекомые, иногда грызуны и птицы). Но состав этих групп населения биогеоценоза часто бывает случайным, малочисленным и однообразным. Из-за малого количества видов агробиоценоз не имеет должной устойчивости и, наоборот, нередко развивается по пути деградации.

Вся структура агробиоценозов организуется и поддерживается человеком. Поэтому предоставленный сам себе агробиоценоз неизбежно заменяется естественным для данных природных условий биогеоценозом.

Причины неустойчивости агробиоценозов. В неустойчивом существовании агробиоценозов принципиальное значение имеет неполнота круговорота веществ в их экосистеме. Это происходит потому, что ежегодно вместе с урожаем из агробиоценозов изымается большая часть произведённой ими продукции. В связи с этим идёт обеднение почв, которое лишь частично компенсируется внесением минеральных и органических удобрений.

Слабая устойчивость агробиогеоценозов определяется ещё и тем, что вмешательство человека привело к использованию растений, созданных с помощью селекции. При этом отбор производился не на качества, полезные для самого вида растений, а на показатели, важные для человека, но иногда осложняющие жизнь самого растения. В итоге культурные растения обычно не могут существовать без помощи человека.

Все агробиоценозы — упрощённые, маловидовые и неустойчивые экосистемы.

Таким образом, поддержание устойчивости агробиоценоза постоянно требует со стороны человека большого внимания к агротехнике выращивания культур, к борьбе с вредными насекомыми, сорными растениями и, что важно, — применения энергии человеческого труда.

Совокупность всех многообразных естественных и культурных биогеоценозов образует целостный биогеоценотический покров Земли, т. е. её живую часть, где отдельный биогеоценоз представляет *элементарную структурную единицу биосферы*. Естественные биогеоценозы всё чаще вынуждены уступать свою территорию культурным. Поэтому в настоящее время уже более 10 % глобальных функций биогеоценозов — поддержание газового состава и гидрологического режима атмосферы, качества почв, создание первичной продукции и прочие — выполняются агробиоценозами. Пропорционально этой доле возросла и мера ответственности человека за судьбу живого покрова на Земле, за судьбу биосферы.

1. Почему озёра и моря больше подвергаются эвтрофикации, чем реки и океаны?

2. Сравните главные определяющие факторы водных и наземных биогеоценозов.

3. Укажите основное различие между естественными и культурными биогеоценозами.

4. Можно ли назвать яблоневый сад временным биогеоценозом?

§ 57

Основные закономерности устойчивости живой природы

Вспомните

- какое значение имеет смена биогеоценозов;
- какие биогеоценозы называют устойчивыми.

Людям необходимо понимать, на чём основана устойчивость популяций, сообществ и экосистем, чтобы соразмерять свою деятельность с законами природы. Назовём некоторые наиболее важные для сохранения устойчивости экологические закономерности: цикличность, отрицательная обратная связь, биологическое разнообразие видов.

Цикличность в экосистемах. *Цикличность* (греч. *kyklos* — «кругооборот»), т. е. многократное использование биогенных веществ, лежит в основе биологического круговорота, от которого зависит устойчивость экосистемы (биогеоценоза) (рис. 108).

Водород, кислород, углерод, азот, фосфор и другие биогенные элементы совершают в биосфере постоянные и многократные миграции между

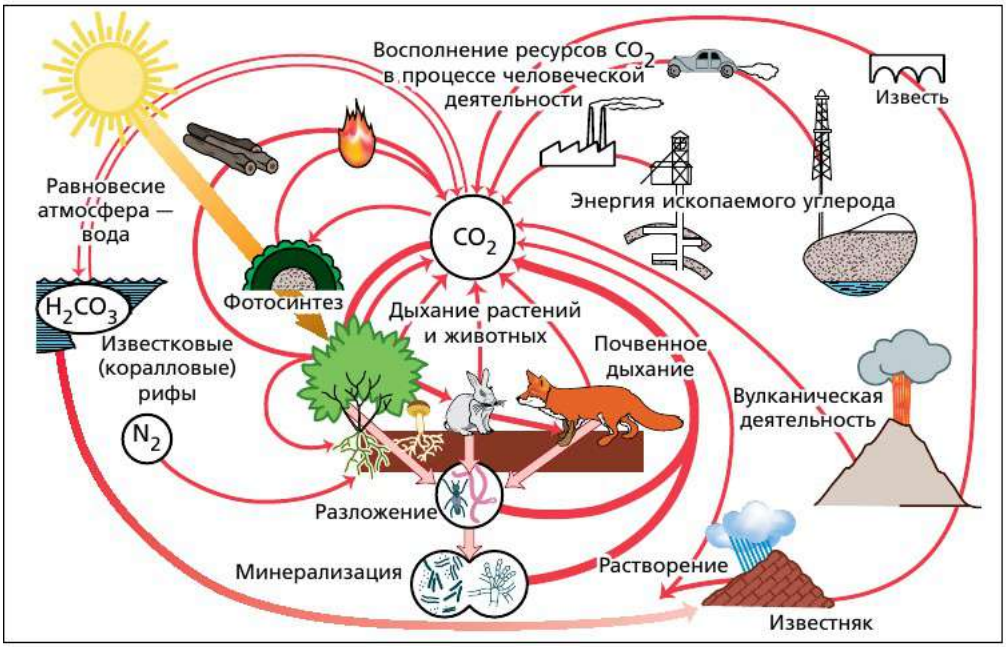


Рис. 108. Биогеохимический цикл углерода

телами организмов и физической средой. Плоть живущих сейчас людей включает атомы, побывавшие в составе тел древних стегоцефалов, динозавров, первоптиц и мамонтов.

Циклическое использование ограниченных по запасам веществ делает их практически неисчерпаемыми. На этом основана непрерывность жизни. Иначе она давно угасла бы на Земле, израсходовав все доступные ресурсы.

Отрицательные обратные связи в экосистемах. Отрицательная обратная связь заключается в том, что отклонения от нормального состояния системы вызывают в ней такие изменения, которые начинают противодействовать этим отклонениям. В итоге происходит регуляция, т. е. возврат системы к прежней норме.

На отрицательной обратной связи основано самоподдержание всех сложных биосистем.

Отрицательная обратная связь регулирует численность популяций в биогеоценозе и осуществляется через биоценотические, т. е. межвидовые, отношения. В основном это связи между хищником и жертвой, паразитом и хозяином. Рост численности жертв, создавая хорошую кормовую базу для хищников, обеспечивает последним успешное размножение и увеличение численности в следующем поколении. В геометрической прогрессии при этом возрастает и влияние хищников на популяции жертв, что приводит к резкому снижению численности последних. Поэтому виды, у которых много природных врагов, т. е. их «все едят», редко достигают численности, опасной для подрыва их собственных ресурсов. Точно так же снижение численности жертв, согласно принципу обратной связи, ведёт к снижению численности хищников. Такое сопряжённое колебание численности жертв и хищников хорошо видно на примере взаимодействия зайца и рыси (рис. 109).

У некоторых видов вспышки численности при массовом размножении происходят даже в природных сообществах. Обычно плотность их популяций сдерживается многочисленными потребителями, но после суровых зим или засушливого лета часть врагов погибает, что и приводит к быстрому увеличению численности особей вида-жертвы. Например, у бабочек сибирского шелкопряда в таёжных лесах не менее 60 видов потребителей. Особенно активно сдерживают рост их численности некоторые мелкие перепончатокрылые — яйцееды, личинки которых развиваются в яйцах шелкопряда. Эти личинки чувствительны к сильным морозам и в массе погибают, яйца же шелкопряда выживают, и начинается резкий рост численности вида. До того, как восстановится численность регуляторов, гусеницы шелкопряда успевают оголить большие массивы хвойных пород, а затем вышедшие из куколок бабочки разлетаются в новые места, где снова попадают под действие большо-

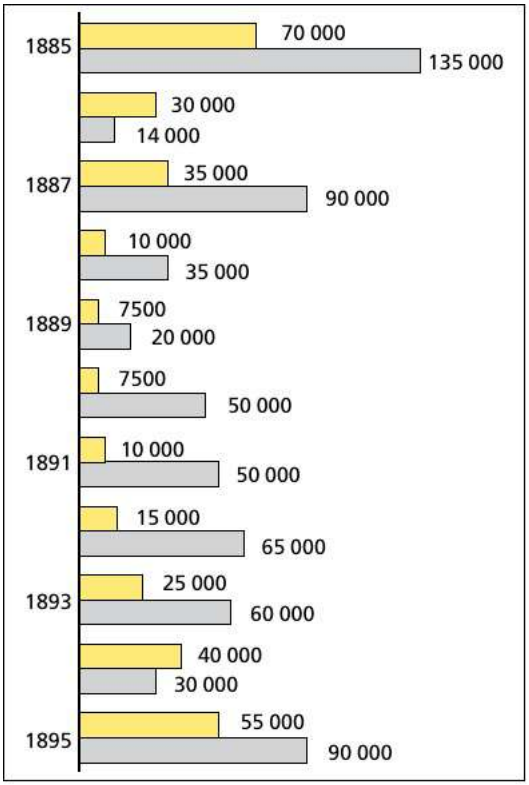


Рис. 109. Сопряжённое колебание численности зайца и рыси, наблюдаемое длительное время на территории Канады (жёлтые столбцы — численность рыси, серые — зайца)

го комплекса паразитов и хищников. Это пример того, к чему приводит запаздывание регуляторного воздействия в природе, временное освобождение вида от пресса потребителей.

Сложную ситуацию создаёт своими руками человек, когда борется с вредителями химическими методами. Обычно хищники и паразиты более чувствительны к ядам, чем их жертвы. Поэтому после кратковременного снижения численности вредители, «освобождённые» от врагов, размножаются с новой силой. Здесь человек нарушает ту отрицательную обратную связь, которая лежала в основе привычного взаимодействия видов.

Биоразнообразие в экосистемах. В биологическом разнообразии видов кроется наиболее мощный механизм устойчивости экосистемы (биогеоценоза). Живая природа подчинена принципу разнообразия, поскольку на Земле нет двух совершенно одинаковых не только видов или сообществ, но и особей. На основе изменчивости особей действует естественный отбор, а на основе разнообразия видов складываются сообщества и экосистемы.

Разнообразие видов позволило жизни освоить все «уголки» биосферы, существовать на всех географических широтах, во всех типах климата, в глубинах океанов и толщах грунтов.

Биологический круговорот веществ требует участия видов с прямо противоположными функциями. Очевидно, что и на заре возникновения жизни существовало разнообразие первичных организмов, иначе биологический круговорот не смог бы возникнуть.

Разнообразие видов позволяет им формировать сообщества, занимать все экологические ниши и тем самым наиболее полно использовать ресурсы среды. В биогеоценозах, как мы видели, создаётся своего рода «разде-

ление труда» между видами, их *взаимная дополняемость*, и это стабилизирует экосистему.

Кроме взаимной дополняемости биологическое разнообразие обеспечивает *взаимную заменяемость* видов в экосистемах. Отдельные виды могут быть заменены их конкурентами без ущерба для общего состояния экосистемы. Выпадение из сообщества каких-либо видов тоже может пройти почти бесследно, если это не касается основных средообразователей. Так как экологические ниши близких по требованиям видов могут частично перекрываться, исчезновение одного из них оказывается неопасным для биогеоценоза. Его функции могут принять на себя сразу несколько видов. Но это возможно, если в экосистеме представлено большое видовое разнообразие.

Наиболее важные процессы в экосистемах имеют множественное обеспечение, т. е. к сходному результату может привести деятельность разных видов.

Например, в такой важной функции, как разложение мёртвого органического вещества, одновременно участвуют многие группы организмов с большим видовым разнообразием: бактерии, грибы, простейшие, круглые и кольчатые черви, членистоногие. Дождевые черви в большинстве типов почв играют важнейшую роль в этих процессах.

Биологическое разнообразие видов — необходимое условие и для протекания первичных и восстановительных сукцессий. Одна из причин торможения сукцессионного процесса на обширных нарушенных человеком пространствах — низкое разнообразие видов на прилегающих территориях, отсутствие семян нужных видов растений и сопровождающих их животных — опылителей, разлагателей и т. п. Без видового разнообразия не происходит смены сообществ в направлении к устойчивым экосистемам (биогеоценозам).

Устойчивость природы, таким образом, основана на вполне определённых законах сложения и динамики природных систем, не считаться с которыми люди не имеют права, так как это оборачивается против их собственного благополучия.

1. Назовите главные закономерности устойчивости экосистем.

2. Объясните, в чём заключается ценность биологического разнообразия видов в биогеоценозе.

3. Подумайте и ответьте на вопросы.

- Почему химические элементы многократно участвуют в биологическом круговороте, а с энергией этого не происходит?
- Использует ли человек в промышленности принцип цикличности, распространённый в природе?

4. Каким образом сопряжённость видов поддерживает устойчивость экосистемы?

§ 58

Экологические проблемы в биосфере. Охрана природы

Вспомните

- какие условия обеспечивают устойчивость экосистем;
- механизмы устойчивости экосистем.

Отношение человека к природе. На протяжении многих веков человечество относилось к природе, как к практически неиссякаемому источнику достижения благополучия. Вспахать больше земли, срубить больше деревьев, добыть больше угля и руды, построить больше дорог и заводов считалось основным направлением прогрессивного развития и достижения процветания.

Уже в древние времена с началом земледелия и скотоводства деятельность человека приводила к изменению крупных экосистем и опустошению больших территорий.

Так, были сведены леса в Древней Греции и Малой Азии, сильно расширены территории пустынь из-за перевыпаса скота, резко упала численность промысловых копытных животных. Экологические катастрофы, вызванные нарушением природных связей, многократно возникали в разных районах Земли. Пыльные бури, вызванные распашкой больших площадей, поднимали вверх и уносили плодородные слои почвы в США, на Украине, в Казахстане. Из-за сведения лесов мелели судоходные реки. В районах сухого климата неумеренный полив вызывал засоление почв. В степных краях расползались овраги, отнимая у людей плодородные земли. Загрязнённые озёра и реки превращались в сточные водоёмы.

К середине XX столетия стало уже очевидным, что нарушения среды, вызванные *антропогенным воздействием*, имеют не только местное, но планетарное значение. Остро встал вопрос о пределах экологической ёмкости планеты для существования человечества.

Рост народонаселения и техногенный характер использования природы привели к угрозе экологических нарушений, затрагивающих не только отдельные государства и страны, но и биосферу в целом. Изменяются планетарные циклы круговорота веществ. В результате перед человечеством возник целый ряд глобальных экологических проблем, обусловленных антропогенным воздействием на окружающую среду. Следует назвать некоторые из них.

Истощение природных ресурсов. Ресурсы, за счёт которых живёт человечество, делятся на две категории: *возобновимые* (почва, растительность, животный мир) и *невозобновимые* (запасы руд и горючих ископае-

мых). Возобновимые ресурсы способны к восстановлению, но, естественно, если их потребление не превысит критических пределов. Интенсивное потребление привело к заметному уменьшению ресурсов.

Из возобновимых ресурсов сильно пострадали почвы, леса, промысловые животные. Площадь, покрытая лесами, стремительно сокращается на планете, в настоящее время ежегодно на 2%. Людьми сведено уже $^2/_3$ природных лесов. На наших глазах идёт уничтожение уникальных тропических влажных лесов в Южной Америке и Африке. Они могут полностью исчезнуть за 2–3 десятилетия вместе с их богатейшим животным миром. Устойчивость сибирской тайги при существующем режиме эксплуатации также может быть подорвана за ближайшие 40–50 лет. Резко упали рыбные запасы в реках и океанах. Сократились популяции трески, лососей, осетровых рыб, многих сельдей, китов. Огромные масштабы приобрели потери почв за счёт засоления и эрозии — разрушения и выноса плодородного слоя водой и ветром. И то и другое возникает в результате неправильной агротехники. Ежегодно теряются десятки миллионов гектаров ценнейших природных земель.

Загрязнение среды. В результате промышленного производства в атмосферу, воду и почву в качестве отходов поступает огромное количество вредных веществ, накопление которых угрожает жизни большинства видов, в том числе человеку.

Мощный источник загрязнений — современное сельское хозяйство, насыщающее почвы избыточным количеством удобрений и ядов для борьбы с вредителями.

Снижение биологического разнообразия. По вине человека в настоящее время катастрофически уменьшается видовое разнообразие животных и растений. Часть видов исчезла в результате прямого истребления (*странствующий голубь*, *дикий тур*, морская *стеллерова корова* и др.). Значительно опаснее оказались резкие изменения природной среды, разрушение местообитаний. Из-за этого гибель грозит $^2/_3$ существующих видов. Сейчас темпы антропогенного обеднения природы таковы, что несколько видов животных и растений исчезают ежедневно. В истории Земли процессы вымирания видов уравновешивались процессами видообразования.

В настоящее время темпы эволюции оказались несопоставимыми с разрушительным влиянием человека на видовое разнообразие планеты.

Изменения, вызываемые деятельностью человека в биосфере, грозят прежде всего самому человечеству. Живая природа в целом представляет настолько мощную силу, что восстанавливается после самых серьёзных катаклизмов на Земле. Но при этом меняются её формы, меняется состояние экосистем. Виды, которые не могут к этому приспособиться, вымирают. Человечество также приспособлено к определённому состоянию биосферы — составу воздуха, вод, почв, растительности, климатическому режи-

му, обеспеченности ресурсами. Изменение качества среды приведёт человечество к гибели.

Человек, в отличие от других видов, обладает разумом и способен к сознательной перестройке своей деятельности.

Рациональное использование природных ресурсов и охрана природы. В наше время глобальные экологические угрозы начали осознаваться обществом. Экологически грамотное, рациональное природопользование — единственно возможный путь выживания человечества. Обеспечить выживание невозможно без развития экологической науки. Она позволяет понять, какими путями нужно строить взаимоотношения с природой в разных областях человеческой деятельности.

Кроме того, у разных народов за многие века накопился большой опыт неистощительного, бережного отношения к природной среде при использовании её богатств. Этот опыт был по большей части забыт и отброшен наступлением НТР, но теперь вновь привлекает к себе внимание. Требуются перестройка сознания каждого человека, отказ от старых форм эксплуатации природы, постоянная забота о ней, переход на новые технологии промышленности и сельского хозяйства. Всё это невозможно без вложения больших средств, всеобщей экологической грамотности и овладения глубокими знаниями в каждой области взаимодействия с природной средой.

Всеобщее экологическое образование становится одним из главных требований времени.

Поэтому и настоящим, и будущим поколениям предстоит напряжённая сознательная борьба за согласованную деятельность людей по сохранению биосферы, за перестройку промышленности и сельского хозяйства на экологических основах, за внедрение нового законодательства, новых норм морали, формирование экологической культуры во имя дальнейшего развития и процветания человечества на Земле.

1. Какие формы деятельности человека нарушают основные законы устойчивости природы?
2. Что нужно делать, чтобы сохранить плодородие почв?
3. Как должен вести себя в природе каждый человек для поддержания устойчивости экосистемы?

Краткое содержание главы

1. Многообразие физико-химических условий, характеризующих земной шар, обусловило закономерное появление четырёх качественно различных сред жизни: водной, наземно-воздушной, почвенной и организменной.

2. Организмы, населяющие разные среды жизни, обладают определённой приспособленностью к господствующим в них условиям существования.

3. Среди воздействий среды на организмы различают три группы экологических факторов: абиотические, биотические и антропогенные.

4. Экологические факторы в соответствии с закономерностями их действия влияют на процессы жизнедеятельности и внешний облик организмов. Они могут влиять на организмы оптимизирующе или угнетающе. Это зависит от силы и продолжительности действия фактора. Для жизни всех организмов Земли очень важным фактором служит фотопериодизм с его «сигнальным» действием в природе.

5. Организмы всех видов в природе живут совместно в природных сообществах в форме популяций.

6. Единство биоценоза и биотопа образует природную систему, которую называют биогеоценозом или экосистемой.

7. Характерное свойство биогеоценоза (экосистемы) — биологический круговорот веществ и потоки энергии.

8. Совокупность водных и наземных экосистем (биогеоценозов) представляет собой биосферу — глобальную, общеземную экосистему. Учение о биосфере создано В.И. Вернадским. Особое внимание учёный уделял живому веществу как главному фактору, который обусловливает существование биосферы.

9. Устойчивость биосферы во многом зависит от рациональной (разумной) природопользовательской деятельности человека, его экологической культуры, сознания своей ответственности за дальнейшее развитие жизни на Земле и процветание человечества.

Подведём итоги

Что вы узнали из материалов главы 5 «Закономерности взаимоотношений организмов и среды»?

Проверьте себя самостоятельно

1. Какова роль живого вещества в эволюции биосферы?
2. По каким законам происходит саморазвитие биогеоценозов?
3. Какую роль играет круговорот веществ в биогеоценозе?
4. Почему и биогеоценоз, и биосферу называют экосистемой?
5. Назовите основные группы экологических факторов.
6. Охарактеризуйте различия между понятиями «численность популяции» и «плотность популяции».
7. Чем обусловлена смена биогеоценозов?

8. Какую роль в биогеоценозе выполняют его ярусы?
9. В каких случаях в экосистеме возникает конкуренция между популяциями?
10. В чём проявляется различие между первичными и вторичными сукцессиями?
11. Почему в наземных биогеоценозах определяющими факторами являются биотические?
12. Охарактеризуйте роль планктона в гидроэкосистемах.

Выполните задания

А. Сформулируйте правильный ответ.

1. Неоднократному использованию живыми организмами химических веществ в экосистеме способствует
а) обмен веществ и энергии
б) численность организмов
в) круговорот веществ
г) цикличность сезонных явлений

2. Укажите основную причину сокращения видового разнообразия в природе
а) конкуренция между видами
б) сезонные изменения
в) гибель от болезней
г) влияние деятельности человека

3. Определите правильно составленную пищевую цепь
а) семена ели → ёж → мышь → лисица
б) лисица → ёж → семена ели → мышь
в) семена ели → мышь → ёж → лисица
г) мышь → семена ели → ёж → лисица

Б. Уберите лишнее слово.
- Сообщество, биогеоценоз, биосфера, биотоп.
- Симбиоз, паразитизм, травоядность, пищевая цепь.
- Биосфера, круговорот веществ, биогеоценоз, экосистема.

Обсудите проблему в классе

1. В чём заключается основное значение биогеоценозов для природы и для человека?
2. Почему экосистемы в открытых водах океана относят к коренным, а экосистемы прибрежных вод — нет?
3. Почему большое количество видов в биогеоценозе обеспечивает его устойчивость?

• Передача органического вещества и энергии по цепям питания подчиняется определённому правилу. В каждой пищевой цепи расходуется энергия, полученная от Солнца и связанная растениями. Лишь небольшая часть поглощённой животными пищи идёт на рост организма, т. е. усваивается. Остальная тратится на поддержание обмена веществ, на обеспечение размножения, и часть удаляется из организма как неусвоенная. Подсчитано, что в среднем на рост организма идёт около 10 % усвоенной энергии. Следовательно, в теле растительноядного животного, например козы, задержится даже менее десятой части энергии, заключённой в органах растения (например, капусты), так как часть веществ растительной пищи не усваивается. Когда же козу съест волк, то на прирост его тела достанется не более одного процента энергии, которая была запасена в кочане капусты. В каждом последующем звене цепей питания количество задерживаемой энергии уменьшается примерно в 10 раз, и уже через 4–5 звеньев она практически полностью иссякает. Это явление называют ***правилом десяти процентов***, которое имеет огромное значение. Оно позволяет понять, как расходуется в экосистеме продукция — органическое вещество, создаваемое растениями за определённое время. На создание 1 кг массы растительноядных животных затрачивается в 10 раз больше солнечной энергии, чем на 1 кг массы растений. Продукция плотоядных поэтому обходится в 100 раз дороже.

Экология, среды жизни (водная, наземно-воздушная, почвенная, организменная), экологические факторы (биотические, абиотические, антропогенные), адаптация, биоценоз, биогеоценоз, экосистема, биосфера, биологический круговорот веществ, пищевые (трофические) связи, экологическая ниша, пищевая цепь, численность популяции, плотность популяции, смена биогеоценозов, сукцессия, паразитизм, хищничество, конкуренция, комменсализм, мутуализм, симбиоз, абиотический компонент, продуценты, редуценты, консументы.

Словарь терминов

Автотрофы (греч. *autos* — «сам» и *trophe* — «питание») — организмы, создающие органические вещества из неорганических с использованием энергии света в процессе фотосинтеза или энергии, образующейся в результате окисления различных неорганических соединений: фото- и хемосинтезирующие бактерии, водоросли, зелёные растения.

Агробиоценоз (агроэкосистема) (греч. *agros* — «поле», *bios* — «жизнь» и *koinos* — «общий») — искусственный биогеоценоз (экосистема), основные функции которого поддерживаются системой агрономических мероприятий (вспашка, внесение удобрений, снятие урожая, обработка ядохимикатами и т. д.). От естественных биогеоценозов отличается простотой структуры и, как правило, доминированием культурных растений поля, огорода, сада, парка и др. Без поддержки человека агробиоценоз быстро распадается, возвращаясь к естественному природному состоянию.

Адаптация (лат. *adaptatio* — «прилаживаю», «приспособление») — процесс и результат приспособления организма к условиям обитания.

Аллель (греч. *allelon* — «взаимно») — один или нескольких вариантов состояний гена (доминантное и рецессивное), которые могут находиться в данном участке хромосомы.

Анаболизм (греч. *anabole* — «подъём») — то же, что **ассимиляция**.

Анафаза — третья стадия митоза или мейоза, во время которой хроматиды расходятся к противоположным полюсам митотического веретена.

Анаэробы (греч. *an* — частица отрицания, *aer* — «воздух» и *bios* — «жизнь») — организмы, способные жить в бескислородной среде.

Антропогенез (греч. *anthropos* — «человек» и *genesis* — «происхождение») — наука о происхождении человека, становлении его как вида в процессе эволюции.

Ароморфоз (греч. *airo* — «поднимаю» и *morphosis* — «образец», «форма») — одно из основных направлений эволюции, характеризующее эволюционное изменение, в результате которого живое поднимается на новую, более прогрессивную ступень развития.

Ассимиляция (лат. *assimilatio* — «уподобление», «слияние», «усвоение») — эндотермические процессы синтеза сложных молекул из более простых в клетках организма. Это созидательная часть метаболизма.

АТФ — аденозинтрифосфат, нуклеотид, состоящий из аденозина и трёх фосфатных групп; в качестве переносчика энергии принимает участие во многих биохимических реакциях клетки.

Аэробы — организмы, способные к активной жизнедеятельности и завершению полного жизненного цикла только в присутствии кислорода.

Бактериофаг (греч. *phago* — «пожираю») — вирус, поражающий бактериальные клетки.

Бесполое размножение — процесс увеличения числа потомков себе подобных без участия половых клеток (деление клетки надвое, размножение спорами, вегетативное размножение).

Биогеоценоз (греч. *bios* — «жизнь», *ge* — «земля» и *koinos* — «общий») — однородный участок земной поверхности с определённым составом живых (биоценоз) и абиотических (приземный слой атмосферы, солнечная энергия, почва, влага и прочие условия окружающей среды) компонентов, объединённых круговоротом веществ и потоком энергии в единый природный комплекс. Совокупность биогеоценозов образует биогеоценотический покров Земли, т. е. всю биосферу, а отдельный биогеоценоз представляет собой её элементарную единицу.

Биологическая мембрана (плазматическая мембрана) — тончайшая полупроницаемая плёнка, отграничивающая клетку и внутриклеточные структуры от внешней среды; содержит в своём составе преимущественно белки и липиды (фосфолипиды). В настоящее время признана мозаично-жидкостная модель строения мембраны.

Биологический круговорот веществ — процесс постоянного и непрерывного обмена веществом и энергией между различными компонентами биогеоценоза, экосистемы и биосферы. Из-за большой роли живых организмов как компонентов биосферы круговорот веществ называют биологическим.

Биологическое разнообразие — разнообразие живых организмов, а также видов, экосистем и экологических процессов, звеньями которых они являются. На конференции ООН по проблемам «Планета Земля» и «Повестка дня на XXI век» в Рио-де-Жанейро (июнь 1992 г.) была выдвинута Программа «Ценность биологического разнообразия», где обозначены типы биоразнообразия: генетическое, видовое и экосистемное.

Биополимеры — высокомолекулярные природные соединения: белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды, молекулы которых образовались из большого числа разнообразных мономеров.

Биосинтез (греч. *bios* — «жизнь», *synthesis* — «соединение») — процесс образования органических веществ в клетке, происходящий с помощью ферментов и внутриклеточных структур.

Биосистема — живая система как целостность, содержащая взаимодействующие живые компоненты.

Биосфера — одна из оболочек (сфер) Земли, состав, строение и энергетика которой в существенных своих чертах определены совокупной деятельностью живых организмов.

Биотехнология — использование живых организмов и биологических процессов в производстве.

Биотоп (греч. *bios* — «жизнь» и *topos* — «место») — однородный по условиям жизни для формирования определённого биоценоза участок территории; является составной частью биогеоценоза.

Биоценоз (греч. *bios* — «жизнь» и *koinos* — «общий») — закономерно сложившаяся совокупность популяций растений, животных, бактерий и грибов, совместно обитающих в одних и тех же условиях среды (биотоп); является составной частью биогеоценоза.

Вегетативное размножение — форма бесполого размножения, при которой начало новому организму дают вегетативные органы или соматические клетки (клетки тела) материнского организма.

Вид — основная структурная единица в системе живых организмов, арена и качественный результат эволюции. Вид понимается как сложная система популяций, населяющих определённый ареал, обладающих рядом общих морфологических, физиологических и генетических признаков и типов взаимоотношений с абиотической и биотической средой и отделённых от других видов отсутствием естественных гибридных форм. Вид существует в форме популяций.

Вирион — вирусная частица.

Вирус (лат. *virus* — «яд») — представитель неклеточной формы жизни, способный проникать в определённые живые клетки и размножаться только внутри этих клеток за счёт материалов хозяина.

Волны жизни (популяционные волны) — один из элементарных факторов эволюции (микроэволюции). Это автоколебательные процессы численности, без которых не может длительно существовать ни одна популяция.

Гамета (греч. *gametes* — «муж»; *gamete* — «жена») — половые клетки (яйцеклетки, спермии и сперматозоиды), которые обеспечивают передачу наследственной информации от родителей к потомкам.

Гаплоидная клетка — половая клетка, содержащая одинарный набор хромосом.

Гаплоидный набор хромосом — набор хромосом, содержащий одну копию каждой хромосомы.

Ген (греч. *genos* — «род», «происхождение») — участок ДНК, контролирующий определённый наследственный признак организма, обычно соответствующий молекуле белка.

Генетический код — единая система записи наследственной информации в молекулах нуклеиновых кислот в виде последовательности нуклеотидов; определяет соответствие триплета нуклеотидов (кодона) ДНК или РНК той или иной аминокислоте белка.

Генная инженерия, или **генетическая инженерия**, — раздел молекулярной генетики, связанный с целенаправленным созданием новых комбинаций генетического материала в клетке, способного размножаться и синтезировать конечные продукты обмена; служит основой развития новой отрасли современной биотехнологии.

Геном — совокупность генетической информации, содержащаяся в молекулах ДНК гаплоидного набора хромосом определённого вида организмов. Представляет собой характеристику вида, а не особи.

Генотип (греч. *genos* — «род» и *typos* — «отпечаток») — совокупность всех наследственных задатков (генов) данной клетки или организма.

Генофонд (греч. *genos* — «род» и франц. *fond* — «основание») — совокупность всех генов, которые содержатся у всех особей данной популяции вида. Важнейшая особенность единого генофонда — его глубокая дифференцированность и неоднородность.

Гетерозигота (греч. *heteros* — «другой» и *zygote* — «соединённая в пару») — зигота, которая имеет разные формы (аллели) того или иного гена.

Гетерозис (греч. *heteroiosis* — «изменение», «превращение») — повышенная жизнеспособность и плодовитость гибридов первого поколения (F_1) по сравнению с родительскими формами.

Гетеротрофы (греч. *heteros* — «другой» и *trophe* — «питание») — бактерии, грибы, животные и некоторые растения (паразитические), питающиеся готовыми органическими веществами.

Гибрид — организм, полученный в результате гибридизации, т. е. объединения генетического материала от генотипически разных организмов (клеток).

Гибридизация — процесс образования гибридов путём объединения генетического материала разных клеток в одной клетке; метод селекции, основанный на скрещивании особей с разными генотипами.

Гликолиз — универсальный путь обмена веществ, происходящий в цитоплазме, при котором расщепление сахаров с образованием АТФ идёт с помощью ферментов, но при отсутствии кислорода.

Гомеостаз (греч. *homoios* — «подобный», «одинаковый» и *stasis* — «стояние», «неподвижность») — состояние внутреннего динамического равновесия живой системы, поддерживаемое регулярным возобновлением её основных структур, вещественно-энергетического состава и постоянной функциональной саморегуляцией её компонентов.

Гомойотермные, или теплокровные, — существа, поддерживающие постоянную температуру своего тела (птицы, млекопитающие).

Гомологичные хромосомы — содержат одинаковый набор генов, морфологически сходны, конъюгируют в профазе I мейоза.

Дегенерация (лат. *degenerare* — «вырождаться») — одно из основных направлений эволюции, характеризующееся упрощением биологической организации организма, популяции или экосистемы.

Дивергенция (лат. *divergere* — «отклоняться») — расхождение признаков организмов в эволюции линий, возникших от общего предка.

Диплоидная клетка — клетка, содержащая в себе два гомологичных набора хромосом.

Диссимиляция (лат. *dissimilis* — «непохожий») — экзотермический процесс распада органических веществ в организме.

ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) — полинуклеотидная молекула, образованная двумя антипараллельными цепочками дезоксирибонуклеотидов, содержащая наследственную информацию организма.

Естественный отбор — основной движущий фактор эволюции, результат борьбы за существование, выражающийся в преимущественном выживании и оставлении потомства наиболее приспособленными к данным условиям особями вида и гибели наименее приспособленных.

Жидкостно-мозаичная модель мембраны — модель строения мембраны, в которой белки погружены в жидкий фосфолипидный слой. Модель создали в 1972 г. американские учёные Г. Николсон и С. Сингер для эукариотической клетки.

Зигота (греч. *zygote* — «соединённая в пару») — клетка, образующаяся при слиянии двух гамет при оплодотворении. Содержит диплоидный (двойной — 2n) набор хромосом от обоих родителей.

Идиоадаптация (греч. *idios* — «особый», «своеобразный» и лат. *adaptare* — «приспосабливаться») — одно из основных направлений эволюции, характеризующее частное приспособление организмов к определённому образу жизни в конкретных условиях внешней среды.

Изменчивость — способность организмов в ряду поколений или в процессе онтогенеза приобретать новые признаки и утрачивать прежние.

Интерфаза — стадия в жизненном цикле эукариотической клетки между митозами, во время которой идёт активный белковый синтез, хроматин деспирализован для активного считывания генетической информации.

Кариотип — совокупность признаков хромосомного набора (в метафазе) того или иного вида.

Катаболизм (греч. *katabole* — «сбрасывание», «разрушение») — то же, что **диссимиляция**.

Клеточная стенка — плотные наружные волокнисто-поровые покровы, синтезируемые клеткой, обычно плотно прилегают к плазматической мембране растительных клеток. Клеточная стенка характерна также для клеток грибов и большинства клеток прокариот.

Клеточное дыхание — совокупность биологических процессов в клетке, осуществляющих расщепление молекул органических веществ и образование органических соединений, богатых энергией.

Клеточный цикл — репродуктивный цикл клетки, состоящий из нескольких последовательных событий (например, интерфаза и митоз у эукариот), во время которых содержимое клетки удваивается и она делится на две дочерние.

Коацерваты (лат. *coacervatio* — «накопление») — мелкие частицы, имеющие вид капелек, образованные из органических макромолекул; являются подобием первичных организмов.

Комплементарность (лат. *complementum* — «дополнение») — взаимное соответствие, обеспечивающее связь дополняющих друг друга структур.

Кроссинговер (англ. *crossingover* — «перекрёст») — обмен гомологичными участками хромосом (во время мейоза), приводящий к перераспределению аллелей.

Круговорот веществ в природе — относительно повторяющиеся взаимосвязанные физические, химические и биологические процессы превращения и перемещения веществ в природе. Различают большой круговорот веществ, или круговорот воды на планете, и малый круговорот, или биологический круговорот.

Макроэволюция — эволюционные преобразования, ведущие к формированию таксонов более высокого ранга, чем вид (родов, семейств, отрядов и т. д.). Реализуется через микроэволюцию.

Мейоз (греч. *meiosis* — «уменьшение», «редукция») — способ деления эукариотических клеток, в результате которого происходит уменьшение

вдвое (редукция) числа хромосом; одна диплоидная клетка даёт начало четырём гаплоидным.

Метаболизм (греч. *metabole* — «перемена», «превращение») — обмен веществ, совершающийся в клетке.

Метаморфоз (греч. *metamorphosis* — «превращение») — глубокое преобразование организма в онтогенезе, когда личинка превращается во взрослую особь.

Метафаза — вторая стадия митоза или мейоза, в которой хромосомы располагаются в одной плоскости между полюсами веретена деления ядра, обычно перпендикулярно оси веретена.

Микроэволюция — совокупность эволюционных процессов, протекающих в популяциях и приводящих к изменению генофонда этих популяций. При особых условиях (например, в случае изоляции) микроэволюция может привести к возникновению новых видов.

Митоз (греч. *mitos* — «нить») — непрямое деление клетки — универсальный способ деления эукариотических клеток, при котором дочерние клетки получают генетический материал, идентичный исходной клетке.

Моделирование — метод опосредованного изучения объектов действительности на их естественных или искусственных аналогах — моделях. Моделирование включает три этапа: создание модели, исследование объекта с помощью различных операций с моделью, перенос полученных знаний на реальный прототип модели.

Мониторинг (англ. *monitor* — «предостерегающий») — длительное наблюдение и оценка или прогноз состояния различных параметров окружающей среды.

Мономеры (греч. *monos* — «один» и *meros* — «часть», «доля») — низкомолекулярные вещества, образующие полимеры в реакции полимеризации.

Мутаген (лат. *mutatio* — «изменение» и греч. *genos* — «род») — фактор, вызывающий мутацию.

Мутация (лат. *mutatio* — «изменение») — внезапно возникающее естественное или искусственное стойкое изменение наследственных структур, ответственных за хранение генетической информации и её передачу от клетки к клетке и от предка к потомству.

Наследственность — свойство организмов (клеток) передавать при размножении информацию о признаках и особенностях своего развития потомству.

Ноосфера (греч. *noos* — «разум» и *sphaira* — «шар») — новая стадия биосферы, связанная с возникновением и развитием в ней человечества. Современное понятие введено в 1931 г. В.И. Вернадским для обозначения этапа эволюции биосферы, характеризующегося ведущей ролью разумной сознательной деятельности человеческого общества в её развитии.

Нуклеиновые кислоты — природные полимеры (ДНК и РНК).

Нуклеоид — зона внутри прокариотической клетки или органоида, в которой сконцентрирована кольцевая (прокариотическая) ДНК.

Оплодотворение — слияние ядер мужской и женской половых клеток, в результате чего возникает зигота с ядром, содержащим двойной набор хромосом (2n).

Орган (греч. *organon* — «орудие», «инструмент») — часть живого организма, выполняющая в нём определённую функцию.

Органоид (греч. *organon* — «орудие», «инструмент» и *eidos* — «вид») — клеточная структура, обеспечивающая выполнение специфических функций. То же, что органелла.

Организм — целостная, замкнутая по структуре, иерархически организованная, неравновесная, самоорганизующаяся, открытая по обмену веществом и энергией живая система (биосистема), элемент всех экологических систем.

Онтогенез, или **индивидуальное развитие организма,** — совокупность преобразований, происходящих в организме от его зарождения (зиготы) до естественной смерти; обусловлен наследственностью и условиями среды обитания.

Пиноцитоз — поглощение клеткой жидкости с помощью формирования небольших впячиваний или тонких каналов плазмалеммы с последующим отделением в цитоплазму мелких пузырьков.

Пищевая цепь, или **трофическая цепь** (греч. *trophe* — «питание»), — взаимоотношения между организмами, через которые в экосистеме происходит трансформация вещества и энергии.

Плазматическая мембрана — то же, что **биологическая мембрана** и клеточная мембрана.

Плотность популяции — число особей популяции в некоторой единице пространства (объёма или площади).

Пойкилотермные, или холоднокровные, — существа, не способные поддерживать постоянную температуру тела; она изменяется вслед за изменением температуры внешней среды.

Полимеры (греч. *poli* — «много» и *meros* — «часть», «доля») — химические соединения с высокой молекулярной массой, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся звеньев (элементарных, или структурных, звеньев).

Полиплоидия (греч. *polyploos* — «многократный» и *eidos* — «вид») — кратное увеличение числа наборов хромосом в клетках организмов.

Популяция (лат. *populus* — «народ», «население») — совокупность особей одного вида, обладающая общим генофондом, занимающая определённую территорию и способная на достаточном по длительности времени (в течение нескольких десятков поколений) через размножение устойчиво поддерживать своё существование.

Прокариоты (лат. *pro* — «перед» и греч. *karyon* — «ядро») — доядерные организмы.

Протобионты (греч. *protos* — «первый» и *biontos* — «живущий») — первые примитивные организмы, появившиеся на Земле.

Профаза — первая стадия митоза или мейоза, в которой у большинства эукариот происходит конденсация хромосом.

Равновесие динамическое — равновесное состояние системы, поддерживаемое за счёт постоянного возобновления её компонентов и структуры.

Раса (франц. *race* — «род», «порода», «племя») — система популяций *Homo sapiens*, сформировавшаяся в определённом географическом регионе и характеризующаяся определённым фенотипом.

Рецессивные признаки (лат. *recessus* — «отступление», «удаление») — признаки, отсутствующие в фенотипическом проявлении особи.

Саморегуляция — свойство биологической системы в процессе её функционирования сохранять на определённом уровне типичное состояние, режимы, характеристики связей между её компонентами.

Селекция — отрасль биологии, основной задачей которой является выведение высокопродуктивных сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов.

Скрещивание — объединение генетического материала разных клеток в одной клетке; один из методов селекции.

Смена биогеоценоза — замена одного биогеоценоза качественно отличным другим биогеоценозом на той же территории поверхности Земли.

Сперматозоид — подвижная мужская половая клетка.

Спора — специализированная клетка грибов и растений, служащая для размножения и расселения. Возникают споры путём митоза (митоспоры) — у грибов и водорослей или мейоза (мейоспоры) — у всех высших растений.

Среда обитания — совокупность абиотических и биотических условий и ресурсов жизни организмов.

Среды жизни — качественно различные среды обитания на Земле. Различают четыре среды жизни: водную, наземно-воздушную, почвенную и организменную.

Сукцессия (лат. *successio* — «преемственность», «наследование») — последовательная замена одних биогеоценозов (экосистем) качественно отличными другими под влиянием их внутреннего развития и взаимодействия с окружающей средой.

Телофаза — стадия митоза или мейоза, при которой хромосомы находятся на противоположных концах митотического веретена.

Транскрипция (лат. *transcriptio* — «переписывание») — процесс биосинтеза молекул иРНК на соответствующих участках ДНК при участии специфического фермента.

Трансляция (лат. *translatio* — «передача») — синтез полимерных цепей белков на матрице иРНК согласно генетическому коду.

Уровни организации живой материи — структурная организация биосистем, отражающая их уровневую иерархию в зависимости от степени (ступени, уровня) сложности. Различают шесть основных структурных уровней жизни: молекулярный, клеточный, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический и биосферный.

Устойчивое развитие — развитие такой системы «общество — природа», которая обеспечивает удовлетворение потребностей общества без ущерба для основных параметров биосферы и одновременно не сокращает возможности для будущих поколений людей удовлетворять свои потребности.

Фагоцитоз — захват и поглощение клеткой относительно крупных оформленных частиц пищи.

Фенотип (греч. *phaino* — «являю», «обнаруживаю» и *typos* — «форма») — совокупность всех признаков и свойств особи, формирующихся в процессе взаимодействия её генотипа и условий внешней среды обитания.

Ферменты (лат. *fermentum* — «брожение», «закваска») — специфические белки, присутствующие во всех живых клетках и выполняющие роль биологических катализаторов.

Фотосинтез (греч. *photos* — «свет» и *synthesis* — «соединение») — процесс образования органических веществ при участии энергии света клетками зелёных растений, водорослей и некоторыми бактериями.

Хемосинтез (греч. *chemeia* — «химия» и *synthesis* — «соединение») — автотрофное питание организмов за счёт энергии окисления неорганических веществ.

Хроматида — одна из двух идентичных копий хромосомы, образующихся в результате её репликации, соединённых между собой посредством центромеры. При митозе хроматиды расходятся в дочерние ядра, становясь хромосомами.

Хроматин — находящийся в ядре комплекс ДНК, гистонов и других белков, которые составляют хромосому.

Хромонема — нить хроматина, из которой в процессе компактизации образуется хроматида хромосомы.

Хромопласты (греч. *chroma* — «цвет» и *plastes* — «образующий», «лепящий») — пластиды с жёлтой, оранжевой и красной окраской.

Хромосома — нитевидная структура, образованная дезоксирибонуклеиновой кислотой (ДНК) и белками, из которых почти половину составляют белки гистоны, участвующие в упаковке (спирализации) ДНК; является носителем наследственной информации клетки и организма.

Целлюлоза — основной структурный компонент клеточной стенки растений, представляет собой линейный полимер глюкозы; чрезвычайно трудно растворимое вещество, которое способны расщеплять грибы и некоторые бактерии.

Цикл жизненный — период от рождения или от появления оплодотворённого яйца до смерти организма. У многоклеточных организмов он называется онтогенезом. У одноклеточных — клеточным циклом, который обозначает период от деления до деления клетки.

Цитокинез — деление клетки, следующее за митозом или мейозом.

Цитоплазма — внутренняя жидкая среда любой клетки.

Численность вида — общее (абсолютное) число особей данного вида, обитающего на Земле в настоящее время.

Эволюция (лат. *evolutio* — «развёртывание») — необратимый исторический процесс постоянного и направленного естественным отбором изменения форм организмов на Земле, обеспечивающий их приспособленность к условиям окружающей среды и образование новых видов.

Экологическая группа — группа организмов, обладающих приспособительными свойствами по отношению к какому-то определённому фактору среды: свету, влаге, температуре, солёности и пр.

Экологический фактор — прямое или косвенное воздействие окружающей среды на живые системы. Различают три группы экологических факторов: абиотические — влияние неживой природы, биотические — влияние живых организмов (растений, животных, бактерий и грибов) и антропогенные — влияние, оказываемое человеком и его деятельностью.

Экосистема — совокупность совместно обитающих организмов и условий их среды обитания, находящихся в закономерной взаимосвязи друг с другом и обусловливающих равноправное функциональное участие абиотической среды и живого населения.

Экотоп — абиотические компоненты среды обитания сообщества живых организмов. Под влиянием сообщества организмов (биоценоза) экотоп переходит в биотоп. Часто используется как синоним терминов «биотоп» и «местообитание».

Эукариоты (греч. *eu* — «хорошо», «полностью» и *karyon* — «ядро») — клетки (и организмы), у которых имеется оформленное ядро, отделённое ядерной оболочкой от цитоплазмы.

Ядро — важнейшая часть эукариотической клетки, регулирующая всю активность клетки, несёт в себе наследственную информацию в макромолекулах ДНК.

Яйцеклетка — женская половая клетка.

Ярус — часть слоя в биоценозе и агроценозе, к которой приурочены ассимилирующие или запасающие органы растений.

Ярусность — пространственно-структурное расчленение толщи биогеоценоза (экосистемы) на ярусы. Различают ярусы: в пространстве (надземные и подземные) и во времени (разновременное участие видов в жизнедеятельности сообщества).

Правильные ответы и утверждения

Глава 1
А. 1б; 2в.
Б. в
В. Высказывание. Хозяин. Атмосфера. Человек.

Глава 2
А. 1б; 2в; 3а.
Б. Фотолиз. Диссимиляция. Мономер.

Глава 3
А. 1б; 2а; 3а, в, г.
Б. Генотип. Изменчивость. Мутация. Размножение.

Глава 4
А. 1б; 2а; 3б; 4б.
Б. Ароморфоз. Приспособленность. Прокариоты. Естественный отбор.

Глава 5
А. 1в; 2г; 3в.
Б. Биосфера. Пищевая цепь. Биогеоценоз.

Оглавление

Как работать с учебником 3

Глава 1. Общие закономерности жизни

§ 1. Биология — наука о живом мире 4
§ 2. Методы биологических исследований 7
§ 3. Общие свойства живых организмов 10
§ 4. Многообразие форм живых организмов 13

Глава 2. Явления и закономерности жизни на клеточном уровне

§ 5. Многообразие клеток 22
§ 6. Химические вещества в клетке 28
§ 7. Строение клетки 33
§ 8. Органоиды клетки и их функции 35
§ 9. Обмен веществ — основа существования клетки 39
§ 10. Биосинтез белка в клетке 41
§ 11. Биосинтез углеводов — фотосинтез 45
§ 12. Обеспечение клеток энергией 49
§ 13. Размножение клетки и её жизненный цикл 52

Глава 3. Закономерности жизни на организменном уровне

§ 14. Организм — открытая живая система (биосистема) 62
§ 15. Примитивные организмы 65
§ 16. Растительный организм и его особенности 68
§ 17. Многообразие растений и их значение в природе 73
§ 18. Организмы царства грибов и лишайников 78
§ 19. Животный организм и его особенности 81
§ 20. Разнообразие животных 85
§ 21. Сравнение свойств организма человека и животных 90
§ 22. Размножение живых организмов 94
§ 23. Индивидуальное развитие 97
§ 24. Образование половых клеток. Мейоз 101
§ 25. Изучение механизма наследственности 105
§ 26. Основные закономерности наследования признаков у организмов 109
§ 27. Закономерности изменчивости 113
§ 28. Ненаследственная изменчивость 116
§ 29. Основы селекции организмов 121

Глава 4. Закономерности происхождения и развития жизни на Земле

§ 30. Представления о возникновении жизни на Земле в истории естествознания 131

§ 31. Современные представления о возникновении жизни на Земле 134
§ 32. Значение фотосинтеза и биологического круговорота веществ в развитии жизни 137
§ 33. Этапы развития жизни на Земле 142
§ 34. Идеи развития органического мира в биологии 145
§ 35. Чарлз Дарвин об эволюции органического мира 148
§ 36. Современные представления об эволюции органического мира 152
§ 37. Вид, его критерии и структура 156
§ 38. Процессы образования видов 159
§ 39. Макроэволюция как процесс появления надвидовых групп организмов 163
§ 40. Основные направления эволюции 167
§ 41. Примеры эволюционных преобразований живых организмов 173
§ 42. Основные закономерности эволюции 177
§ 43. Человек — представитель животного мира 182
§ 44. Эволюционное происхождение человека 185
§ 45. Этапы эволюции человека 188
§ 46. Человеческие расы, их родство и происхождение 193
§ 47. Человек как житель биосферы и его влияние на природу Земли 197

Глава 5. **Закономерности взаимоотношений организмов и среды**
§ 48. Условия жизни на Земле. Среды жизни и экологические факторы 206
§ 49. Закономерности действия факторов среды на организмы 210
§ 50. Приспособленность организмов к действию факторов среды 214
§ 51. Биотические связи в природе 219
§ 52. Популяция как форма существования вида 223
§ 53. Природное сообщество — биогеоценоз 228
§ 54. Биогеоценоз, экосистема и биосфера 233
§ 55. Смена биогеоценозов и её причины 238
§ 56. Многообразие биогеоценозов (экосистем) 242
§ 57. Основные закономерности устойчивости живой природы 246
§ 58. Экологические проблемы в биосфере. Охрана природы 250

Словарь терминов 257
Правильные ответы и утверждения 269