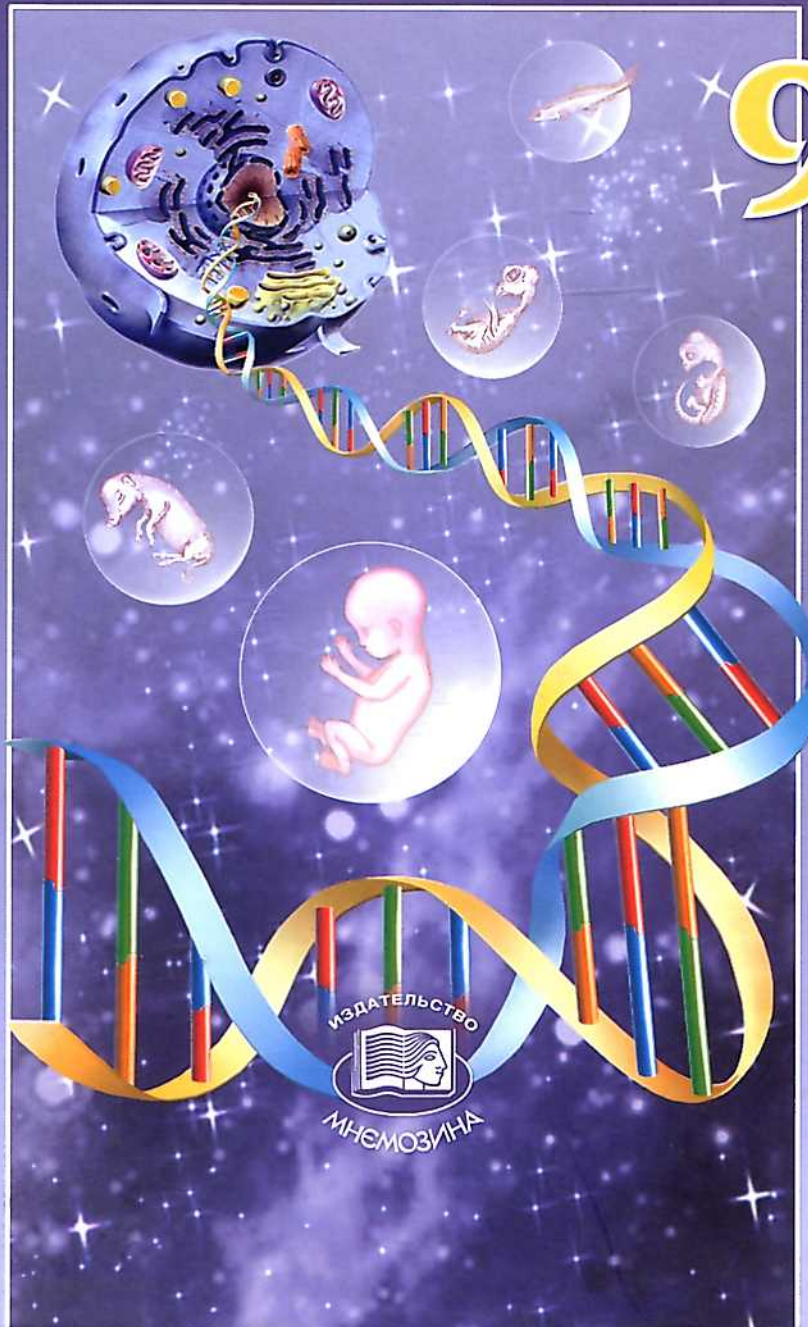
Т. М. ЕФИМОВА, А. О. ШУБИН, Л. Н. СУХОРУКОВА

ФГОС

БИОЛОГИЯ

9



УЧЕБНИК

ИЗДАТЕЛЬСТВО МНЕМОЗИНА

Т. М. ЕФИМОВА, А. О. ШУБИН, Л. Н. СУХОРУКОВА

БИОЛОГИЯ

ОСНОВЫ ОБЩЕЙ БИОЛОГИИ

9

класс

УЧЕБНИК

для общеобразовательных учреждений

Под редакцией Н. Д. Андреевой, Д. И. Трайтака

Рекомендовано
Министерством образования и науки
Российской Федерации

5-е издание, переработанное

Москва 2012

УДК 373.167.1:57
ББК 28.0я721
Е91

На учебник получены положительные заключения Российской академии наук (№ 10106–5215/385 от 14.11.2011) и Российской академии образования (№ 01–5/7д–742 от 24.10.2011)

Ефимова Т. М.

Е91 Биология. Основы общей биологии. 9 класс : учеб. для общеобразоват. учреждений / Т. М. Ефимова, А. О. Шубин, Л. Н. Сухорукова ; под ред. Н. Д. Андреевой, Д. И. Трайтака. — 5-е изд., перераб. — М. : Мнемозина, 2012. — 303 с. : ил.

ISBN 978-5-346-01966-4

Учебник входит в учебно-методический комплект под редакцией профессора Н. Д. Андреевой и профессора Д. И. Трайтака и соответствует федеральному компоненту государственных образовательных стандартов по биологии для основной школы.

Книга посвящена общим закономерностям строения, функционирования и развития биологических систем разного уровня организации — от клеточного до надорганизменного. Учебник имеет эколого-практическую направленность, содержит новые научные факты, красочно иллюстрирован.

УДК 373.167.1:57
ББК 28.0я721

© «Мнемозина», 2007
© «Мнемозина», 2012, с изменениями
© Оформление. «Мнемозина», 2012
Все права защищены

ISBN 978-5-346-01966-4

ШКОЛЬНИКУ ОБ УЧЕБНИКЕ

Вы начинаете изучать новый раздел биологии, который обобщает полученные ранее знания о жизни растений, животных, человека и раскрывает общие закономерности строения, жизнедеятельности и развития живых систем: от клетки до биосферы.

Содержание учебника представлено разделами, главами и параграфами. Каждый параграф для удобства усвоения материала разбит на смысловые блоки.

Для облегчения работы с учебной книгой ***полужирным курсивом*** в тексте выделены термины, обязательные для запоминания, а *светлым курсивом* — понятия, которые вводятся впервые и могут быть вам незнакомы. На эти термины следует обратить внимание, так как без их усвоения вам будет сложно понять последующий учебный материал.

Ваша задача — не только приобрести знания, но и добиться значительных результатов в развитии качеств личности, определяющих отношение к своему здоровью, природе. Вы должны овладеть универсальными учебными действиями, необходимыми для проведения исследовательской работы по предмету, для работы с различными источниками информации (текстом, иллюстрациями, дополнительной литературой, ресурсами Интернета), а также научиться применять полученные знания в различных жизненных ситуациях. Учебник поможет вам в этом.

Вопросы и задания, предлагаемые в учебнике, разнообразны. В текст каждого параграфа включены вопросы, предваряющие изложение нового материала. Перед тем как работать с текстом, попытайтесь ответить на эти вопросы, используя знания, имеющиеся у вас из предыдущих разделов биологии, а также ваш жизненный опыт. Если возникнут затруднения, то в параграфе и иллюстрациях к нему вы найдёте всю необходимую информацию. В этом случае ваши знания по биологии станут прочными и системными.

В конце параграфов приведены задания для самостоятельной работы и вопросы для самоконтроля.

Лабораторные работы, включённые в учебник, предназначены для выполнения на уроке. Индивидуальные и коллективные исследовательские проекты выполняются в уголке живой природы, кабинете биологии, на пришкольном и приусадебном участках во внеурочное время. Подобные виды работ способствуют выработке умений планировать свою деятельность, проводить наблюдения, ставить биологические эксперименты, выдвигать гипотезы и проверять их в ходе исследования, формулировать выводы и использовать различные средства оформления итогов работы.

В рубрике «Для любознательных» представлен дополнительный материал, содержащий интересные научные сведения, факты, расширяющие и иллюст-

рирующие текст параграфа. Эта рубрика окажет помощь при выборе профиля, по которому вы будете продолжать обучение в старших классах школы.

Учебник прекрасно оформлен. В нём много комбинированных иллюстраций, содержащих информацию, которой иногда даже нет в тексте параграфов. Поэтому внимательно работайте с рисунками.

В учебнике для обозначения разных видов учебной деятельности используются следующие пиктограммы.

Лабораторные и практические работы.

Индивидуальные и коллективные исследовательские задания.

Задания для коллективной проектной деятельности.

Работая с учебником, вы сможете самостоятельно проследить за своими успехами не только в усвоении биологических знаний, овладении предметными и интеллектуальными умениями, универсальными учебными действиями, но и в развитии ценностного отношения к природе и человеку. Помогут вам в этом специальные цветные выделения, которые используются для обозначения вопросов и заданий.

○ Вопросы и задания, содействующие развитию умений работать с учебной и справочной литературой, самостоятельно осуществлять поиск информации, проводить наблюдения, составлять план ответа, анализировать текст, таблицу, рисунок, отмечены цифрами розового цвета.

○ Вопросы и задания, направленные на самоконтроль усвоения основного содержания параграфа и овладение предметными умениями, а также умениями применять биологические знания для решения разного рода учебных задач, выделены цифрами жёлтого цвета.

○ Вопросы и задания, нацеленные на развитие умений анализировать, сравнивать объекты или понятия, устанавливать причинно-следственные связи, делать обобщения и выводы, обозначены цифрами зелёного цвета.

○ Вопросы и задания, направленные на применение биологических знаний на практике, на развитие ценностного отношения к природе и человеку, обозначены цифрами синего цвета.

Успехов вам и отличных оценок!

Авторы

ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ: КЛЕТКА, ОРГАНИЗМ

Химический состав живого 11

Строение и функции клетки — элементарной живой системы 34

Организм — целостная система 71

Раздел I

ВВЕДЕНИЕ. ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ — ОБЪЕКТ ИЗУЧЕНИЯ БИОЛОГИИ

Почему биологические знания всегда были актуальны для человека? Что изучает современная биология?

Роль биологических знаний в жизни человека. Потребность в познании окружающего мира возникла на самых ранних этапах развития человечества. Чтобы выжить в суровых условиях дикой природы среди многочисленных врагов, человеку были необходимы биологические знания. Вначале они выражались в способности отличать съедобные растения от ядовитых и пригодных для промысла животных от таких, которые представляли реальную угрозу жизни человека. Позднее появились попытки изучить условия произрастания полезных растений и повадки животных. Человек пришёл к выводу, что выращивать растения рядом с жилищем и иметь круглый год мясо, молоко, кожу, шерсть приручённых животных намного выгоднее, чем постоянно кочевать в поисках средств к существованию. Так человечество постепенно накапливало биологические знания.

В современном мире роль биологических знаний трудно переоценить. Используя для удовлетворения своих потребностей многочисленные природные ресурсы, люди порой не задумываются о сохранении того естественного равновесия, которое складывалось сотни миллионов лет. Не считаясь с биологическими законами, человек отдаёт природе гигантское количество отходов, вызывая часто необратимые изменения в естественных ландшафтах.

Природа — не только ресурс, который используется в хозяйстве, но и объект эстетического удовлетворения. В условиях беспрецедентного увеличения масштабов производства, роста численности населения Земли становится всё труднее сохранить уникальность природных сообществ. Угроза исчезновения нависла над многими видами живых организмов. В результате человечество вынуждено жить в искусственно созданной, изменённой до неузнаваемости техногенной среде, влияние которой на себе испытывает всё живое.

Человек должен найти разумное сочетание растущего воздействия на природу и заботы о ней. Каким образом можно достичь этого? Познание процессов, протекающих в живой природе, поможет нам в выполнении этой важной задачи.

Что изучает биология. Биология (от греч. *bios* — жизнь, *logos* — учение) — наука о жизни как особом явлении природы. Своё окончательное название она обрела в начале XIX в., когда независимо друг от друга французский естествоиспытатель Ж. Б. Ламарк и немецкий учёный Г. Р. Тревиранус предложили использовать этот термин для обозначения науки, исследующей явления жизни.

Современная биология — это целая система наук. Живая природа так многообразна, что изучать её в целом очень сложно. Поэтому на определённом этапе развития биологии стали обособляться отдельные науки, более детально исследующие какую-то одну группу живых организмов. Так возникли *ботаника* — наука о растениях, *зоология*, объектом изучения которой служат животные, *протистология*, изучающая простейшие одноклеточные организмы, а также *микробиология* и *вирусология*, наиболее глубоко исследующие микроорганизмы и вирусы.

Изучением строения и функций организмов занимаются соответственно науки *морфология* и *физиология*. Постижение законов и закономерностей исторического развития живой природы — задача *эволюционного учения*. На рубеже XX в. возникла *генетика* — научная дисциплина, изучающая наследственность и изменчивость организмов. Взаимоотношения живого с окружающей средой исследует *экология*.

Каждая из биологических наук имеет свою область исследования, однако это вовсе не означает изолированности от других наук. Знания, получаемые каждой из них, объединяются, обобщаются и проявляются в виде биологических законов и теорий, составляющих одно из наиболее важных достижений человечества.

Школьная биология — это учебный предмет, вбирающий в себя основы биологических наук. В предыдущих классах вы изучали жизнь растений, животных и человеческого организма. Задача *общей биологии* — выявлять и объяснять общие свойства живых систем, закономерности их жизнедеятельности и развития.

Живыми системами (биосистемами) принято считать живые объекты различной сложности, представляющие собой совокупность компонентов, связанных в единое целое. Элементы (компоненты) — единицы системы, выполняющие определённые функции (органоиды в клетке, органы и системы органов — в многоклеточном организме). Например, функцию питания у большинства цветковых растений выполняют корень и лист, стебель обеспечивает транспорт питательных веществ, благодаря цветкам осуществляется половое размножение.

Системы, о которых пойдёт речь в разделе общей биологии, — это клетка, организм, популяция, вид, сообщество, биогеоценоз, или экосистема, биосфера (см. 1-й форзац).

Свойства живых систем. Живые системы существенно отличаются от систем, существующих в неживой природе. Для того чтобы это понять, рассмотрим их основные свойства.

- Живым системам свойственна *структурная целостность* и *упорядоченность* протекающих в них процессов. Главным отличием живого от

неживой природы является наличие сложных молекул органических соединений, из которых состоят клетки и ткани. Те, в свою очередь, образуют компоненты органов, из органов строится организм. Структурная сложность продолжается и на уровне надорганизменных систем и не сводится к простой сумме элементов. Компоненты в живой системе взаимосвязаны, взаимозависимы и функционируют строго упорядоченно во времени и пространстве. Например, нормальная жизнедеятельность клетки человеческого организма возможна лишь в случае согласованного протекания более 10 000 реакций.

- Для поддержания своей целостности и упорядоченности живые системы обмениваются с окружающей средой веществом и энергией и являются *открытыми* системами. В результате обменных процессов происходит непрерывное обновление большинства их элементов.
- Для живых систем характерно такое свойство, как *саморегуляция* — способность в меняющихся условиях окружающей среды поддерживать постоянство своего химического состава и интенсивность течения жизненных процессов. Об этом шла речь при изучении организма человека. Вспомните о гомеостазе. Например, в жаркую погоду человек регулирует температуру своего тела усилением потоотделения и кровотока в коже. Кроме того, он может переместиться в более прохладное место. Растения охлаждаются благодаря транспирации. Неживые объекты такой способностью не обладают: камни раскаляются на солнце, а их охлаждение возможно лишь при понижении температуры воздуха.
- Живые системы с течением времени проходят ряд последовательных количественных и качественных изменений, т. е. *растут* и *развиваются*.
- Способность живых систем к *самовоспроизведению* с сохранением у потомков строения и функций родительских форм обеспечивает непрерывность и преемственность жизни.

Изучение систем осуществляется на разных *уровнях организации* живого. Так, основные процессы жизнедеятельности (обмен веществ, превращение энергии, передача наследственной информации) происходят на молекулярном уровне. Изучением этого уровня занимается наука *молекулярная биология*.

На клеточном уровне становится возможным проявление функций отдельных органоидов. Клетка — структурная единица всего живого, поэтому чрезвычайно важно изучение данного уровня организации жизни. Особенности строения и жизнедеятельности клетки исследует наука *цитология*.

Óрганно-тканевый уровень раскрывает строение и функции органов, составляющих их тканей и является объектом изучения *анатомии* и *гистологии* — науки о тканях.

Черты строения, поведения и физиологические процессы особей (организмов) изучает на организменном уровне *биология организмов*.

На популяционно-видовом уровне изучаются надорганизменные системы — популяции, виды. На этом уровне осуществляются процессы исторического развития, завершающиеся образованием новых видов.

Биоценотический и биогеоценотический (экосистемный) уровни раскрывают проблемы взаимоотношений особей популяций разных видов в сообществах, устойчивости природных экосистем.

Биосферный уровень представлен глобальной экосистемой — биосферой. На этом уровне в биологии решаются глобальные проблемы, связанные с влиянием деятельности человека на природу Земли.

Системы разных уровней могут отличаться своими особенностями. Например, организмы не могут эволюционировать: историческое развитие характерно для популяций, сообществ, экосистем. А способность к самовоспроизведению несвойственна экосистемам и биосфере.

Методы исследования в биологии. ***Научный метод*** — это совокупность действий, призванных помочь достижению желаемого результата. Методы, используемые в биологических исследованиях, условно подразделяют на эмпирические (от греч. *empeiria* — опыт) и теоретические (рис. 1).

К эмпирическим методам относят *наблюдение* и *эксперимент* (от лат. *experimentum* — опыт).

Наблюдение — целенаправленное восприятие природных объектов или явлений. В ходе наблюдения за живыми системами исследователь лишь фиксирует процесс (описывает, измеряет), не вмешиваясь в его ход. Так, при изучении предыдущих разделов биологии вы наблюдали за изменениями природы во времени и фиксировали полученные данные в фенологическом дневнике.

Научный эксперимент — наблюдение в специально создаваемых и контролируемых условиях, что позволяет восстановить ход исследуемого явления при повторении условий. Например, для определения степени тренированности сердца вы подсчитывали пульс до физической нагрузки и после десяти приседаний. В данном случае для эксперимента со своим организмом вы создали определённые условия — выполнили физические упражнения, которые при необходимости можно повторить.

Результатами, полученными в ходе неоднократных наблюдений и экспериментов, становятся *научные факты*. Научный факт — отправная точка любого научного исследования.

Для объяснения фактов учёный использует теоретические методы исследования: *анализ* — выделение отдельных сторон или признаков объекта или явления и их всестороннее рассмотрение; *синтез* — соединение ранее вы-

Рис. 1. Классификация методов биологического исследования

деленных частей предмета в единое целое; *обобщение* — установление общих свойств и признаков объектов; *моделирование* — изучение объекта на основе создания его копии (модели). Например, моделирование возможных изменений в живых системах позволяет прогнозировать их состояние в будущем.

Эмпирические исследования часто требуют математической обработки. Это ещё один теоретический метод. Он позволяет выявить общие закономерности процессов, протекающих в биосистемах. Например, Г. Мендель установил законы наследования признаков благодаря тщательной математической обработке данных, полученных в ходе опытов.

Вопросы и задания

1. Приведите свои аргументы в пользу утверждения о том, что современная биология — система наук.
2. Объясните, почему биологические знания особенно актуальны в настоящее время.
3. Объясните значение термина «живая система». Какие признаки отличают живые системы от неживой природы?
4. Используя знания из предыдущих разделов биологии, приведите примеры саморегуляции в живых системах.
5. Охарактеризуйте уровни изучения живых систем.
6. В чём сходство и различие эмпирических и теоретических методов исследования?
7. Верно ли утверждение, что человек, обладающий биологическими знаниями, бережнее относится к природе и здоровью? Аргументируйте свою позицию.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЖИВОГО

Мир живого поразительно многообразен. Обитатели Земли — растения, животные, бактерии, грибы, вирусы. И каждый представитель живого мира уникален и неповторим.

В состав живого входят те же химические элементы, что составляют и тела неживой природы. Однако их количественное соотношение в живой и неживой природе различно. Так, в земной коре первые четыре места по распространённости занимают кислород, кремний, алюминий и натрий.

Основу живых систем составляют углерод, водород, кислород, азот, фосфор и сера. Для них характерно образование водорастворимых соединений, что позволяет им накапливаться в живых организмах. Многочисленные химические связи атомов углерода между собой и с атомами других элементов лежат в основе сложных органических веществ, подчас имеющих огромную молекулярную массу. Это белки, жиры, углеводы, нуклеиновые кислоты и другие органические соединения, наряду с неорганическими составляющие живое вещество.

В 50-х годах XX в. в качестве самостоятельного направления биологической науки выделилась *молекулярная биология*, изучающая значение молекул белков, углеводов, нуклеиновых кислот и других органических соединений в живых системах. Молекулярно-биологические исследования раскрыли универсальные механизмы, лежащие в основе строения и жизнедеятельности живого, таких его свойств, как наследственность, изменчивость, воспроизведение себе подобных.

§ 1. Химические элементы, составляющие живые системы

Каковы особенности химического состава живых организмов?

Химические элементы, входящие в состав живого. В клетках живых организмов обнаружено до 70 элементов из 110, составляющих Периодическую систему Д. И. Менделеева.

Согласно классификации, основанной на количественном признаке, все химические элементы, обнаруженные в живых клетках, можно разделить на три группы. В первую группу входят ***макроэлементы***, т. е. элементы, концентрация которых (в % к массе тела) превышает 0,001 %. Это кислород, углерод, водород, азот, калий, натрий, кальций, магний, сера, железо, фосфор, хлор. Они составляют основную массу живого вещества клетки (около 99 %). Особенно высока концентрация углерода, азота, водорода и кислорода (98 % всех макроэлементов). Главная функция макроэлементов состоит в построении клеток и тканей, поддержании постоянства осмотического давления, кислотно-щелочного состава.

Во вторую группу входят ***микроэлементы***, составляющие 1,9 % массы клетки. Содержание каждого из них в клетках и тканях организмов колеблется от 0,001 до 0,000001 %. Это цинк, марганец, медь, кремний, иод, молибден, бор и многие другие. Несмотря на незначительную долю в общей массе клетки, каждый микроэлемент имеет определённое значение как в клетке, так и во всём организме. Микроэлементы входят в состав ферментов, гормонов, витаминов и биологически активных веществ, участвуют в обмене веществ, размножении, обезвреживании токсических веществ. Они активно влияют на процессы кроветворения, проницаемость сосудов и тканей животных и человека.

Например, медь участвует в поддержании нормальной структуры хрящей и сухожилий, эластичности стенок кровеносных сосудов, лёгочных альвеол, кожи. Этот микроэлемент повышает устойчивость организма человека к некоторым инфекциям.

Третью группу химических элементов составляют ***ультрамикроэлементы***. Их содержание в клетке ничтожно мало — миллионные доли процента. Это селен, кобальт, ртуть, серебро, радий и некоторые другие. Они также важны для нормальной жизнедеятельности клетки и организма.

Многие организмы обладают способностью накапливать отдельные химические элементы. Например, у морских раковинных простейших в состав раковин входит кальций, морские водоросли накапливают иод, ракообразные — медь, некоторые растения, например хвощи, — кремний. Эти элементы необходимы их организмам для нормального роста и развития.

В растения и микроорганизмы различные элементы попадают из почвы и воды, в организмы животных и человека — с водой и пищей. Их поступление с пищей в организм человека может существенно различаться в зависимости от рациона питания. Например, в морепродуктах сконцентрированы такие элементы, как кальций, калий, натрий, магний, медь. Наземные растения являются основным источником марганца, а морские — железа, кремния, иода. Животная пища наземного происхождения богата фосфором и азотом.

Часть элементов может попадать в организм человека ингаляционным путём в виде пыли и песка (кремний), испарений и аэрозолей (иод), а также через кожу.

Недостаток или избыток некоторых элементов в окружающей среде может привести к нарушению обмена веществ в организме. Известно, что в непосредственной близости от промышленных предприятий образуются зоны с повышенным содержанием мышьяка, ртути, свинца, никеля и других микроэлементов, в больших дозах являющихся токсичными и представляющих угрозу здоровью и даже жизни человека.

Избыток азота в почве снижает морозоустойчивость растений, уменьшает сопротивляемость к воздействию патогенных грибов и микроорганизмов, вызывающих различного рода заболевания. В то же время недостаток азота, а также фосфора и калия отрицательно сказывается на росте и развитии растительного организма (рис. 2).

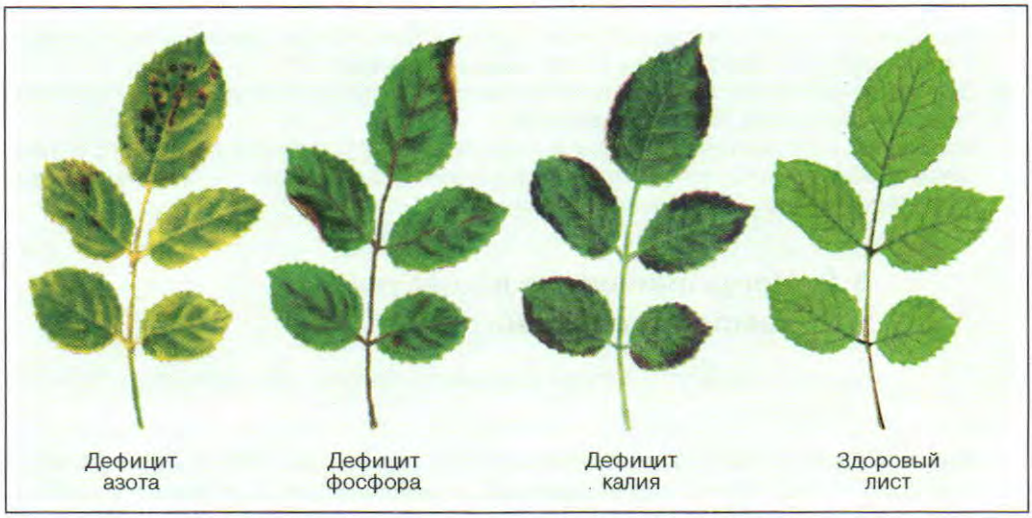


Рис. 2. Листья розы с признаками недостатка азота, фосфора и калия (в сравнении со здоровым листом)

КОЛЛЕКТИВНАЯ ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Обследование растений школы на предмет выявления экземпляров с признаками дефицита азота, фосфора или калия

Цель работы — выявить комнатные растения с признаками недостатка какого-либо химического элемента.

Проведите осмотр растений школьного зимнего сада, кабинета биологии, рекреаций: выявите экземпляры с пожелтевшими, засыхающими, опадающими листьями. Используя рис. 2 учебника, а также фото в Интернете (www.sadurad.ru) листьев с ярко выраженным недостатком азота, фосфора или калия, определите, дефицит какого элемента испытывает каждое растение. Для устранения причины заболевания подкормите растения азотным (фосфорным, калийным) удобрением. Через 7—10 дней проверьте результат.

Найдите в литературе по комнатному цветоводству информацию о сроках подкормки и дозах минеральных удобрений, содержащих азот, фосфор и калий, для каждого вида растений. Составьте памятку по уходу за ними и поместите её на стенд в зимний сад, кабинет биологии или уголок живой природы.

Вопросы и задания

1. Сравните химический состав живого организма и неживой природы. Выявите черты сходства и различия.
2. Охарактеризуйте группы химических элементов, входящих в состав живых систем.
3. Правомерно ли утверждать, что чем меньше концентрация химического элемента в клетке, тем он менее значим для её жизнедеятельности?
4. Докажите, что овощи, выращенные вблизи крупных автомагистралей, не могут считаться экологически чистой продукцией.
5. Используя дополнительную справочную литературу, а также интернет-ресурсы (www.ru.wikipedia.org, www.sadurad.ru.), выясните роль макро- и микроэлементов в жизнедеятельности растений.

§ 2. Неорганические вещества — компоненты живого

Какие особенности строения воды определяют её свойства и значение в природе?

Вода. Макро- и микроэлементы присутствуют в живой материи в виде разнообразных химических соединений, которые подразделяют на неорганические и органические вещества. К неорганическим веществам относят воду и минеральные соли.

Самое простое из химических соединений, содержащихся в организме в большом количестве, — это вода. Общее содержание воды различается у разных групп организмов. Так, у обитателей водной среды вода составляет до 98 % массы тела, у наземных животных — до 70 %. В растениях содержание воды колеблется от 80 до 95 %.

Уменьшается доля воды в организме и с возрастом: эмбрион человека в возрасте 1,5 мес. содержит около 98 % воды от массы тела, новорождённый ребёнок — около 74 %, взрослый человек — около 66 %.

Физические и химические свойства природной воды довольно необычны. Рассмотрим подробнее основные из них.

- Молекула воды имеет угловое строение: атомы водорода расположены под углом 104,5°, вследствие чего она полярна, т. е. представляет собой ***диполь***. Это значит, что у атомов водорода в молекуле сосредоточен положительный заряд, а со стороны кислорода — отрицательный (рис. 3). Таким строением объясняются уникальные свойства воды.
- Подобно маленьким магнитикам, молекулы воды притягиваются друг к другу противоположными полюсами, образуя при этом достаточно прочные связи между атомами кислорода и водорода соседних молекул. Эти связи носят название ***водородных*** (рис. 3). Благодаря полярности молекул воды и их способности соединяться друг с другом водородными связями вода играет огромную роль в живых системах.

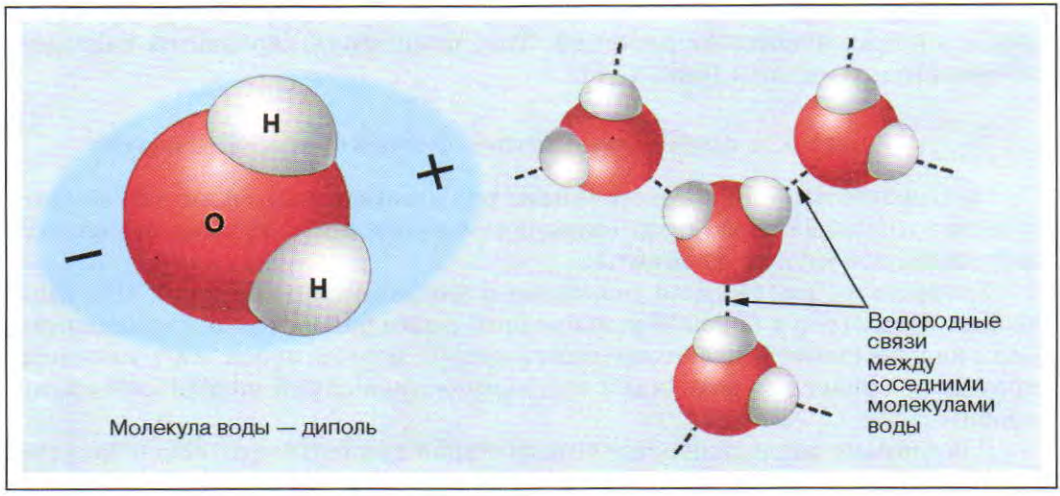


Рис. 3. Строение молекулы воды

Вспомните, какую роль играет вода в живых организмах.

В клетке вода служит универсальным растворителем: хорошо растворяет соли, сахара и ряд других соединений, состоящих из полярных молекул, тем самым обеспечивая поступление необходимых веществ в клетку и удаление продуктов жизнедеятельности. Вода участвует в реакциях обмена веществ: например, фотосинтез в хлоропластах осуществляется только с участием воды. Благодаря высокой удельной теплоёмкости и способности равномерно распределять тепло вода предохраняет клетку от перегрева и поддерживает скорость биохимических процессов на постоянном уровне.

В организме вода служит средой для транспорта различных веществ. Эту функцию вода выполняет в крови, лимфатической и выделительной системах, в пищеварительном канале животных и проводящей ткани растений. Вода используется животными и растениями для охлаждения организма. Так, при потоотделении у животных или транспирации у растений происходит испарение воды, которое требует значительных затрат энергии.

Вода образует среду обитания организмов, для которой характерно довольно значительное постоянство условий (небольшие колебания температуры, относительно постоянные солевой состав и плотность).

Минеральные соли. Большая часть неорганических веществ находится в клетках организмов в виде солей. Соли серной, фосфорной, соляной и других кислот могут содержаться в клетках как в твёрдом состоянии, так и в растворённом виде.

В твёрдом состоянии минеральные соли можно наблюдать под микроскопом в клетках некоторых растений. Так, включения карбонатов кальция встречаются у инжира (рис. 4, 1).

Какова роль солей в осуществлении функций организма человека?

Ионы солей выполняют в организме ряд незаменимых функций: входят в состав цитоплазмы клеток, определяют её кислотно-щелочной баланс, активизируют многие ферменты.

Хлориды калия и натрия участвуют в генерации и проведении электрических импульсов в нервной и мышечной ткани человеческого организма. Соли кальция обеспечивают прочность костей, ногтей, зубов, а его катионы принимают участие в регуляции сердечных сокращений и свёртываемости крови.

В организме поддерживается определённая концентрация ионов различных солей, которая не должна нарушаться. Так, в человеческом организме марганец, железо и кальций в больших дозах препятствуют усвоению

Рис. 4. Кристаллы минеральных солей (1) и солей органических кислот (2, 3) в клетках растений

цинка, а отложение кальция в костях возможно только в присутствии солей фосфора.

Вопросы и задания

1. Объясните, какие особенности строения молекулы воды обуславливают уникальное значение этого вещества в природе.
2. Какую роль выполняет вода в живых системах?
3.* Используя знания из физики о силе поверхностного натяжения воды, объясните значение рыхления почвы как агротехнического приёма при выращивании сельскохозяйственных культур.
4. Почему в суточный рацион человека должны входить продукты питания, богатые минеральными солями?
5. Используя рис. 4, определите, что собой представляют включения в растительных клетках. Почему их называют непостоянными клеточными образованиями?

§ 3. Органические вещества. Углеводы

Каковы особенности строения органических соединений?

Мономеры и полимеры. Помимо неорганических соединений в состав живого входит группа ***органических*** веществ, в которых особое место занимает углерод. Благодаря небольшой величине атома и четырём электронам на внешней электронной оболочке углерод способен образовывать прочные ковалентные связи с другими атомами и создавать большие и сложные молекулы.

Среди органических веществ различают небольшие по молекулярной массе молекулы и макромолекулы.

Малые молекулы представляют собой соединения углерода с молекулярной массой от 100 до 1000 и содержат до 30 углеродных атомов. Это различные органические кислоты, в том числе *жирные кислоты* и *аминокислоты*, *простые сахара* (например, глюкоза), *нуклеотиды*.

Из малых молекул образуются более крупные молекулы органических веществ — макромолекулы, например из аминокислот — белки. Нуклеотиды служат строительным материалом *нуклеиновых кислот*. Макромолекулы имеют молекулярные массы, порой намного превышающие 1 000 000, и построены из многих миллионов атомов.

Малые молекулы в макромолекуле могут выступать в роли повторяющейся единицы — ***мономера*** (от греч. *monos* — один, *meros* — часть, доля) (рис. 5). Так, глюкоза служит мономером крахмала и целлюлозы, аминокислоты — мономером белков.

В свою очередь, макромолекулы, построенные из мономеров, называют ***полимерами*** (от греч. *polymerēs* — состоящий из многих частей). К органическим полимерам — ***биополимерам*** — относят белки, нуклеиновые кислоты, *полисахариды*.

Липиды, основным компонентом которых являются жирные кислоты, не относят к макромолекулам. Из липидов вам хорошо знакомы жиры, состоящие из трёхатомного спирта глицерина и жирных кислот.

В клетках живых организмов органические вещества способны окисляться с выделением энергии.

Углеводы. Простые сахара. Термин «углеводы» ввёл русский химик К. Г. Шмидт для обозначения органических соединений, состоящих из углерода, кислорода и водорода. Именно он предложил назвать их углеводами, так как атомов водорода в молекулах любого углевода всегда в два раза больше, чем атомов кислорода, — так же как в молекуле воды.

Простые углеводы (простые сахара), или ***моносахариды***, — это кристаллические вещества, сладкие на вкус, растворимые в воде. Их молекулы

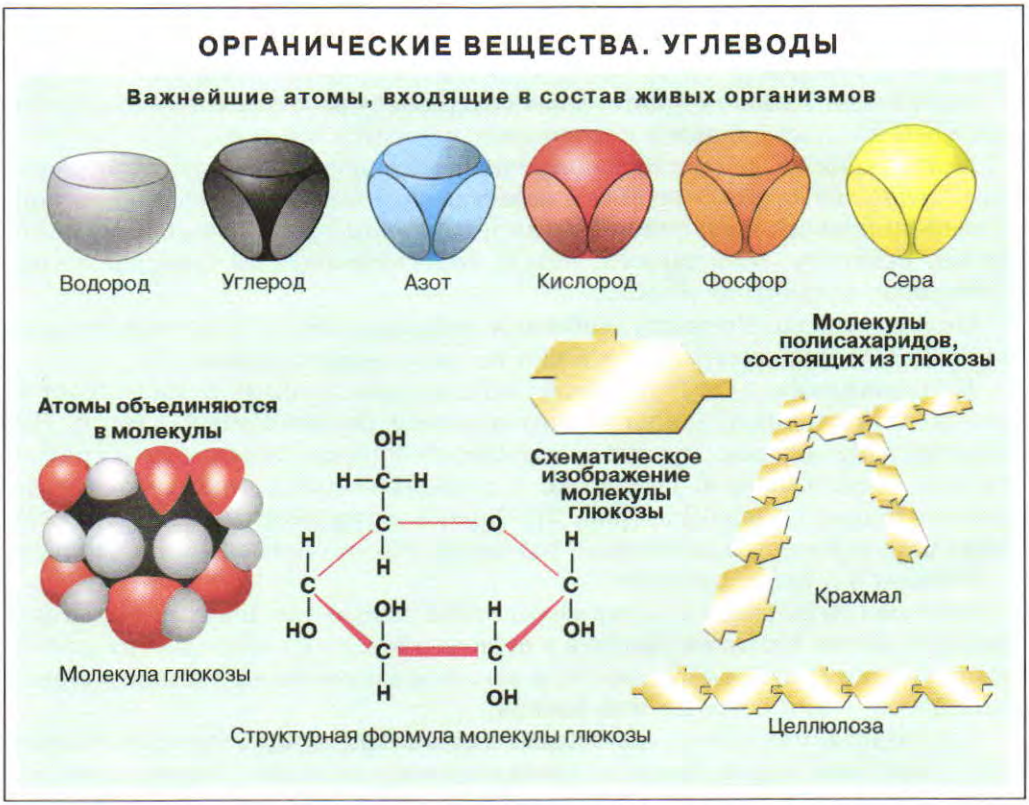


Рис. 5. Органические соединения. Образование полимеров из мономеров (чёрточками в структурной формуле условно обозначается валентность элементов)

могут содержать от трёх до семи атомов углерода. В клетках живых организмов они могут входить в состав более крупных молекул, а также находиться в свободном состоянии.

Из пятиуглеродных сахаров наибольшее биологическое значение имеют *рибоза* и *дезоксирибоза*. Эти простые углеводы являются компонентами нуклеотидов, из которых построены гигантские молекулы нуклеиновых кислот — *РНК* (*рибонуклеиновая кислота*), имеющая в составе нуклеотидов рибозу, и *ДНК* (*дезоксирибонуклеиновая кислота*), имеющая в своём составе дезоксирибозу.

В молекулах глюкозы и фруктозы шесть атомов углерода. Глюкоза (виноградный сахар) — первичный источник энергии в клетке, мономер многих полисахаридов. В результате последовательного ряда реакций окис-

ления глюкоза в итоге распадается до CO_2 и H_2O. В ходе распада глюкозы высвобождается энергия, которую клетка использует для синтеза необходимых соединений.

Фруктоза в больших количествах содержится в сладких плодах, пчелином мёде и также является источником энергии в клетках.

Моносахариды, соединяясь ковалентными связями, могут образовывать *дисахариды*, из которых наиболее известна сахароза (свекловичный сахар). Её особенно много в сахарной свёкле и сахарном тростнике, из них и получают сахарозу. Дисахариды, как и моносахариды, растворимы в воде и обладают сладким вкусом.

Полисахариды. По своим свойствам полисахариды отличаются от моносахаридов прежде всего тем, что они не растворяются в воде.

Полисахариды — это полимеры, мономерами которых служат простые сахара. Одни полисахариды входят в состав растительных клеток. Это крахмал и целлюлоза. Другие содержатся в клетках животных и грибов. Это гликоген. Крахмал, целлюлоза и гликоген — полимеры, мономером которых является глюкоза (рис. 5). Однако в строении молекул этих полисахаридов имеются некоторые различия, что и определяет их свойства и функции в живых системах.

Крахмал запасается в клетках растений в виде так называемых крахмальных зёрен. Их можно видеть в первую очередь в хлоропластах клеток фотосинтезирующей ткани листа, а также в запасающих тканях клубней картофеля, семян бобовых или злаков.

Целлюлоза, или клетчатка, входит в состав клеточных стенок растений. Прочность растения обусловлена механическими тканями, у клеток которых стенки особенно богаты целлюлозой.

Гликоген — полисахарид животного происхождения. Его также называют животным крахмалом.

Гликоген у позвоночных животных запасается главным образом в печени и мышцах и так же, как и крахмал, служит источником глюкозы.

Для любознательных

Интересно, что ещё в середине XIX в. учёные считали, что лишь клетки растений могут образовывать новые вещества, а клетки животных лишены такой возможности. Французский учёный К. Бернар, проведя серию опытов на собаках, доказал, что это не так. Он кормил собак мясом, а в крови животного обнаруживал глюкозу. Затем он проанализировал кровь, прошедшую через печень, и обнаружил вещество, по свойствам похожее на крахмал. Бернар сделал вывод, что клетки животных также способны образовывать новые вещества. А полученное соединение он назвал гликогеном.

Крахмал и гликоген достаточно легко расщепляются на моносахариды. Например, в организме человека крахмал подвергается действию пищеварительных ферментов уже в ротовой полости. Целлюлоза же, напротив, очень трудно поддаётся расщеплению. Фермент, активирующий эту реакцию, чаще встречается у бактерий. Бактерии толстого кишечника (так называемая бактериальная флора) животных и человека в процессе своей жизнедеятельности расщепляют грубую растительную клетчатку, которая почти не поддаётся действию пищеварительных соков.

Очень близок по строению к целлюлозе хитин. Это вещество встречается в тканях животных и клетках грибов. У членистоногих хитин служит важным компонентом наружного скелета, у грибов выполняет опорную функцию в клеточных стенках.

Таким образом, полисахариды играют огромную роль в строении и жизнедеятельности живых организмов. Крахмал и гликоген выполняют запасающую функцию и составляют энергетический резерв организма. При необходимости они легко превращаются в глюкозу, которая подвергается окислению, с образованием энергии. Целлюлоза и хитин, обеспечивая прочность покровных структур растений, грибов и животных, выполняют структурную (строительную) функцию.

Вопросы и задания

1. Чем характеризуются макромолекулы органических веществ?
2. Объясните значение терминов «мономер», «полимер». Приведите примеры полимеров и их мономеров.
3. Сравните простые и сложные сахара, выявите черты сходства и различия.
4. Известно, что клетки представителей разных царств живой природы имеют определённые различия в строении. А как отличаются клетки растений, животных и грибов по своему химическому составу?
5. Охарактеризуйте роль углеводов в жизни клетки и организма.
6. Используя информацию, которую содержит рис. 5, установите черты сходства и различия в структуре крахмала и целлюлозы.
7. Используя справочные сайты Интернета (www.ru.wikipedia.org, www.medicall.ru), подготовьте компьютерную презентацию на тему «Углеводы в рационе нашего питания. Роль углеводов в нормальной жизнедеятельности организма».

§ 4. Белки

Каковы функции белков в организме человека?

Строение белков. Если исключить воду и вычислить сухую массу клетки, то белки в ней будут составлять в среднем более 50 %. Белков

в клетках больше, чем каких-либо других органических соединений. Так, белок образует основу гемоглобина, участвующего в транспорте кислорода к тканям органов. К белкам относят фибрин, образующийся при свёртывании крови, и кератин, составляющий основу волос, шерсти, ногтей, перьев.

Для любознательных

Известно более 170 аминокислот, но только 20 из них входят в состав белков. Это серин, глицин, фенилаланин, метионин и др. Все аминокислоты построены по общему плану: содержат карбоксильную группу COOH, определяющую кислотные свойства, и аминогруппу NH_2, придающую аминокислоте свойства оснований. Таким образом, аминокислота — амфотерное соединение. Отличаются аминокислоты своими боковыми цепями — *радикалами*. Особенности радикалов всех аминокислот, входящих в состав данного белка, определяют его свойства.

В 1871 г. русский химик Н. Н. Любавин установил, что белки состоят из аминокислот. Другими словами, белки — это полимеры, состоящие из мономеров — аминокислот (рис. 6).

При взаимодействии аминокислот друг с другом образуются прочные ковалентные связи между группами COOH одной аминокислоты и NH_2 другой. Такие связи называются ***пептидными***. Соединение из двух аминокислот представляет собой дипептид, из трёх — трипептид, из нескольких — полипептид. Молекула белка представляет собой ***полипептид***, так как множество различных аминокислот соединяются пептидными связями в определённой последовательности (см. рис. 6).

Важно знать, что недостаточное содержание в пище человека и рационе животных каких-либо аминокислот, входящих в состав белков, грозит нарушением обмена веществ, замедлением роста и развития организма, приводит к различным заболеваниям.

Из 20 аминокислот 9 не синтезируются в организме человека. Это *незаменимые аминокислоты*, к которым относятся валин, лейцин, фенилаланин, метионин и др. Человек должен получать их с пищей. Причём белки животного происхождения содержат больше незаменимых аминокислот. Поэтому в рационе подростка они должны составлять 60 % от общего количества потребляемого белка.

Пространственная структура белковой молекулы. Молекула белка может иметь различную пространственную структуру (см. рис. 6). Цепочка аминокислот, соединённых пептидными связями, образует *первич-*

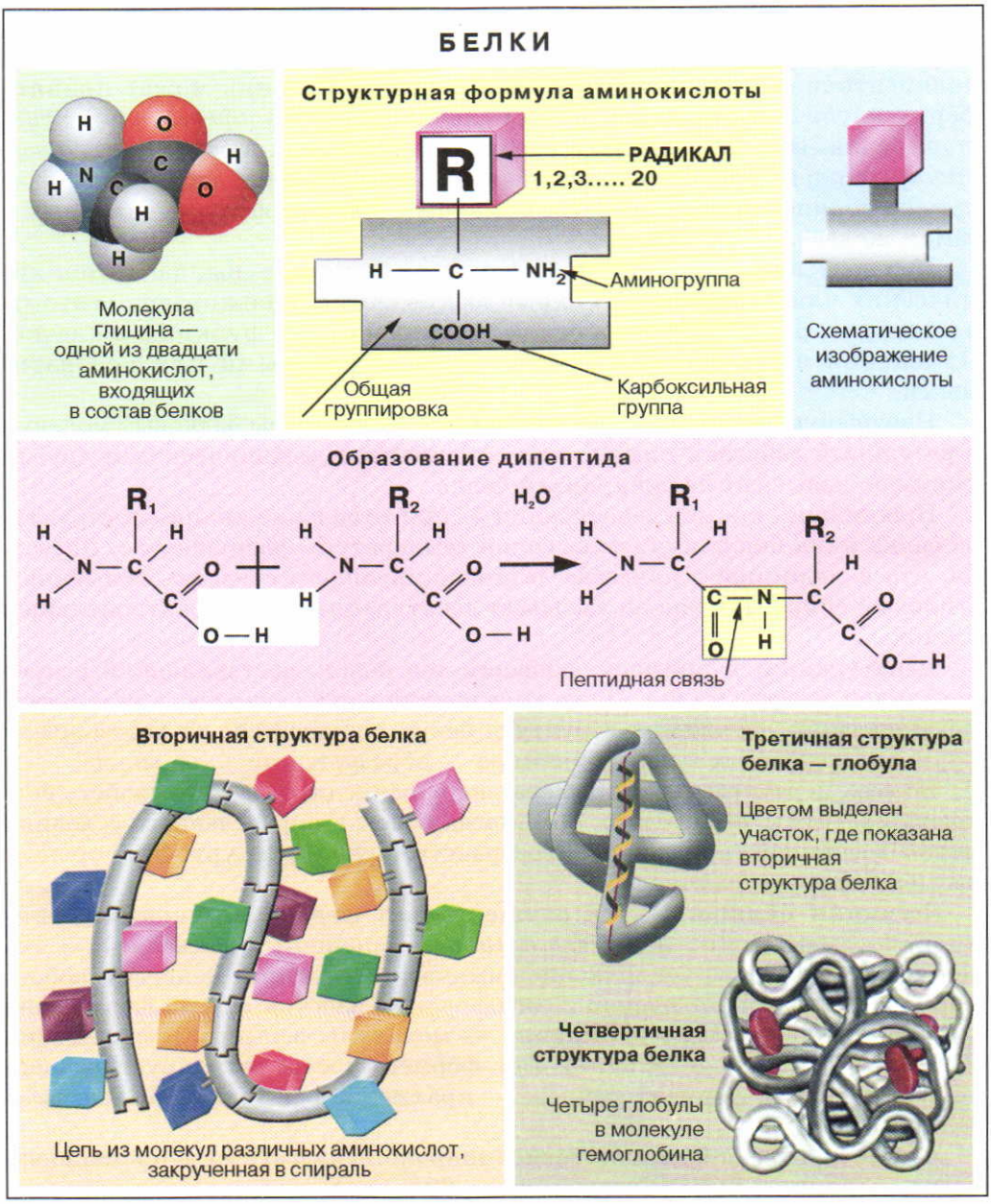


Рис. 6. Строение белков

ную структуру. Последовательность аминокислот и их число в каждой полипептидной цепи строго определённы. *Вторичная структура* — это полипептидная цепь, закрученная в спираль. Спираль может принять форму клубочков — *глобул.* В этом случае говорят о *третичной структуре* белка. Иногда несколько глобул объединяются и образуют *четвертичную структуру.* Таким соединением является гемоглобин, в котором четыре полипептидные цепочки уложены в виде глобул, соединённых с гемом железа.

Под воздействием каких-либо факторов (температуры, давления, химических или механических) химические связи, удерживающие атомы в молекуле, разрушаются, и белок утрачивает свою функцию в клетке. Изменения в его структуре могут быть временными или необратимыми.

Нарушение трёхмерной пространственной структуры белковых молекул в результате действия химических, физических, механических и других факторов называют ***денатурацией*** белка.

Простейший пример денатурации — приготовление яичницы: структура белка яйца под влиянием высокой температуры разрушается. Известно, что в медицине в качестве дезинфицирующего средства применяют этиловый спирт, так как он вызывает денатурацию белков бактериальных клеток.

Денатурации, к примеру, подвергается белок, составляющий секрет паутинной железы паука. Паук выделяет капельку секрета, в результате механического натяжения структура белка нарушается: из растворимой формы он переходит в нерастворимую — образуется нить паутины.

Во всех перечисленных примерах нарушение структуры и свойств белковой молекулы необратимо. Но иногда белок в определённых условиях может восстановить прежнюю пространственную структуру. Этот процесс называют ***ренатурацией.***

Функции белков. Белки осуществляет *ферментативную* функцию. ***Ферменты*** (от лат. *fermentum* — брожение, закваска) — это белки-катализаторы, ускоряющие химические реакции. Действие любого фермента строго направленно и согласовано с работой других ферментов: у каждого свой «объект внимания» — молекулы веществ, превращения которых он активирует (рис. 7). Так, фермент уреаза регулирует расщепление мочевины, фермент амилаза — крахмала, а ферменты протеазы — белков.

Ферментативная функция белков широко используется в промышленности, медицине, быту. Сегодня около 80 % всех выпускаемых промышленностью моющих средств содержат ферменты (см. рис. 7).

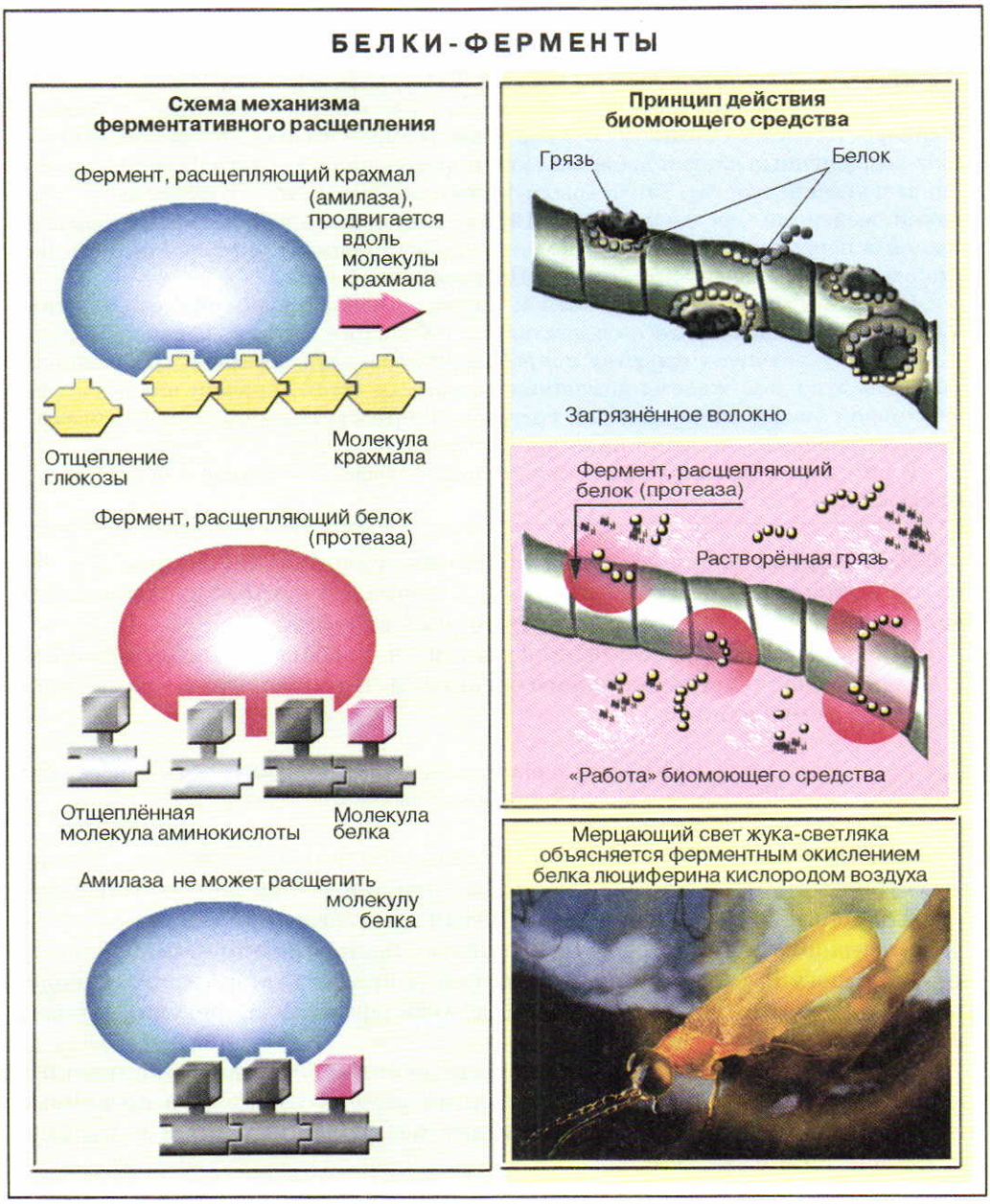


Рис. 7. Ферменты специфичны, т. е. катализируют превращения строго определённых веществ

Для любознательных

Ещё в XVIII в. итальянский учёный Л. Спалланцани, изучая процесс пищеварения у животных, обнаружил вещества, способные расщеплять и белки, и сахара. Немецкий химик Э. Бухнер в конце XIX в. сделал интересное открытие: разрушенные клетки дрожжей, как и живые клетки, расщепляют сахар на спирт и углекислый газ. Так открыли ферменты. Однако то, что ферменты — это белки, выяснили гораздо позднее: в 1926 г. американский биохимик Д. Самнер получил первые кристаллики фермента уреазы. Фермент оказался белком. За это открытие ему была присуждена Нобелевская премия.

Известно, что содержащие белок пятна от пота, крови, яичного желтка или других пищевых остатков удаляются с большим трудом. В начале XX в. к обычному моющему средству попробовали добавлять порошок, полученный из поджелудочной железы домашних животных. Этот порошок оказался эффективной биодобавкой, так как содержал протеазы поджелудочной железы, которые расщепляли белки на аминокислоты.

В результате был получен замечательный эффект — пятна с белья легко отмывались.

Структурная (строительная) функция белков заключается в том, что они являются основным строительным материалом клеток: входят в состав биологических мембран и внутриклеточных структур.

Транспортная функция белков состоит в связывании и переносе ими молекул и ионов в пределах целого организма. В транспорте веществ участвует белок гемоглобин.

Вспомните, какие соединения транспортирует гемоглобин в организме многих животных, в том числе и человека.

Двигательная функция белков заключается в их способности, изменяя свою структуру, осуществлять направленное движение. Примерами могут служить белки мышечного волокна актин и миозин.

Регуляторная функция осуществляется белками-гормонами, участвующими в регуляции активности клетки и организма. Например, белок соматотропин (гормон роста), выделяемый гипофизом, регулирует рост костей и мышц.

Инсулин, состоящий из двух цепей, вырабатывается в поджелудочной железе и выполняет функцию регуляции обмена глюкозы в организме. Благодаря инсулину глюкоза переходит из крови в ткани и в мышцах превращается в гликоген.

Защитная функция белков также широко известна. На чужеродные для организма вещества, называемые *антигенами*, позвоночные животные

способны вырабатывать особые белки — *антитела*. Антитела связывают антигены. Такие реакции лежат в основе иммунитета, с них начинается обезвреживание токсичных для организма веществ, устранение болезнетворных бактерий.

У многих растений под действием низких температур синтезируются особые белки холодового шока, защищающие клетку от разрушения кристаллами льда. Располагаясь на поверхности ледяных кристаллов, белки холодового шока тормозят их образование в клетках и межклетниках и тем самым предотвращают гибель растения в холодное время года.

При окислении белков выделяется энергия, используемая затем для синтеза новых соединений. В этом состоит их *энергетическая* функция.

Таким образом, функции, выполняемые белками, довольно многочисленны и лежат в основе многообразия проявлений жизни. Интересно, например, что у жуков-светляков имеются специальные клетки, наполненные особым белком — люциферином. Благодаря «своему» ферменту он окисляется кислородом воздуха, происходит световая вспышка. Таким мерцающим светом насекомое привлекает самку (см. рис. 7).

Вопросы и задания

1. Используя информацию, которую содержат рис. 5 и 6, установите черты сходства и отличия сложных углеводов и белков.
2. Объясните, почему белки называют полипептидами.
3. Чем первичная структура белка отличается от вторичной, третичной и четвертичной?
4. Как человек использует способность белка к денатурации? Приведите примеры проявления денатурации в природе.
5. Прокомментируйте утверждение о том, что белки имеют огромное значение в жизни любого организма.
6. Почему ферменты называют биологическими катализаторами? Объясните смысл выражения «специфичность действия ферментов».
7. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета (www.ru.wikipedia.org, www.medicall.ru, www.elementy.ru), подготовьте презентацию на тему «Белки — обязательный компонент питания человека».

§ 5. Нуклеиновые кислоты

Почему нуклеиновые кислоты относят к макромолекулам?

Начало изучению нуклеиновых кислот положил швейцарский биохимик Ф. Мишер ещё во второй половине XIX в. В ядрах лейкоцитов он обнаружил соединение, которое отличалось по свойствам от белков, уже известных к тому времени. Позднее это соединение назвали нуклеиновой кислотой.

Нуклеиновые кислоты (от лат. *nucleus* — ядро) — биополимеры, мономером которых служат структурные звенья — нуклеотиды. Множество соединённых между собой нуклеотидов образуют длинную неразветвлённую цепь — ***полинуклеотид***.

Нуклеотид, в свою очередь, состоит из трёх компонентов: остатка фосфорной кислоты, пятиуглеродного сахара и ***азотистого основания***.

Существуют два типа нуклеиновых кислот — ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) и РНК (рибонуклеиновая кислота).

ДНК (*дезоксирибонуклеиновая кислота*) представляет собой гигантскую молекулу. Длина ДНК может достигать одного метра, однако структурные особенности молекулы позволяют ей быть достаточно компактной, чтобы помещаться в ядре микроскопической клетки. В структурной организации молекулы ДНК различают первичную и вторичную (макромолекулярную) структуры.

Первичная структура ДНК представлена полинуклеотидной цепью, образованной четырьмя типами нуклеотидов. Каждый нуклеотид ДНК состоит из остатка фосфорной кислоты, сахара дезоксирибозы и азотистого основания (рис. 8). Азотистых оснований всего четыре: ***аденин (А)***, ***гуанин (Г)***, ***цитозин (Ц)*** и ***тимин (Т)***. По наличию того или иного азотистого основания в нуклеотиде и определяется тип последнего.

Модель строения макромолекулы ДНК (её вторичной структуры) была предложена в 1953 г. американским биофизиком Дж. Уотсоном и английским генетиком Ф. Криком. Открытию предшествовала огромная исследовательская работа. Используя данные рентгенограмм, учёные математически вычислили и смоделировали молекулу ДНК. Позже правильность их расчётов подтвердилась. В 1962 г. за своё открытие учёные были удостоены Нобелевской премии.

Согласно модели, разработанной Дж. Уотсоном и Ф. Криком, молекула ДНК представлена в клетке спиралью, закрученной вокруг собственной оси и состоящей из двух цепей. Она напоминает верёвочную лестницу, «перекладины» которой образуют пары азотистых оснований нуклеотидов противолежащих цепей. Пространственная конфигурация аденина позволяет ему спариваться лишь с тимином. Подобным образом соответствуют друг другу поверхности гуанина и цитозина. Аденин с тимином соединяют две, а цитозин с гуанином — три водородные связи (рис. 8).

Что представляют собой водородные связи?

Пары азотистых оснований нуклеотидов, взаимодополняющих друг друга, называют ***комплементарными***. Комплементарность — универ-

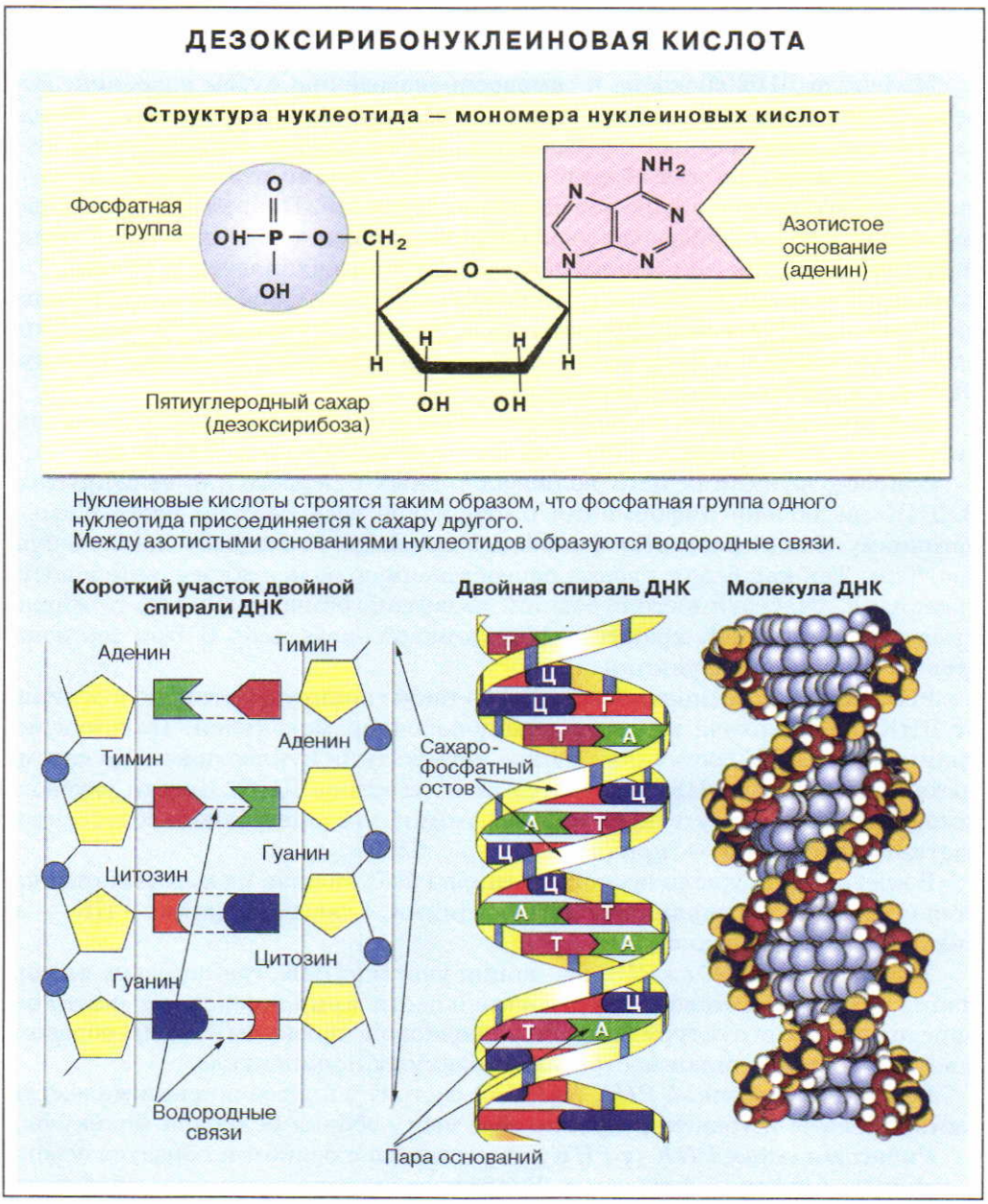


Рис. 8. Строение дезоксирибонуклеиновой кислоты

сальный принцип, лежащий в основе структуры и функционирования ДНК в клетке.

Молекула ДНК способна к самовоспроизведению путём удвоения. Под действием ферментов двойная спираль ДНК раскручивается, связи между азотистыми основаниями разрываются. Затем каждая цепь используется в качестве матрицы для сборки своей копии. Копии строятся из нуклеотидов, находящихся в ядре в свободном состоянии. Например, аденин свободного нуклеотида образует две водородные связи с тимином нуклеотида матрицы. Цитозин свободного нуклеотида присоединяется к гуанину — комплементарному азотистому основанию полипептидной цепи. Постепенно из одной молекулы ДНК формируются две, каждая из которых содержит одну материнскую и одну вновь синтезированную цепь. Удвоение молекул ДНК происходит перед делением клетки.

Большая часть ДНК сосредоточена в ядре клетки, а небольшое её количество находится в других органоидах — митохондриях, пластидах.

Вопрос о функциях ДНК волновал учёных с первого дня её открытия. В ДНК заключена информация о структуре всех белков, необходимых организму. Эта информация записана в линейной последовательности нуклеотидов. Так как белки играют первостепенную роль в жизнедеятельности организма, участвуя в его строении, развитии, обмене веществ, то можно утверждать, что ДНК хранит информацию об организме. В этом заключается её важнейшая функция.

РНК (*рибонуклеиновая кислота*) — также полинуклеотид, но в отличие от ДНК представлена в клетке одноцепочечной молекулой. Полинуклеотидную цепь РНК составляют также четыре типа нуклеотидов. По своему составу нуклеотид РНК отличается от нуклеотида ДНК. Вместо углевода дезоксирибозы присутствует рибоза, тимин заменяет близкородственное азотистое основание — ***урацил***.

В клетке обнаружено несколько типов РНК, каждая из которых отличается строением и выполняемыми функциями. Главная функция РНК — её участие в синтезе белков.

Матричная РНК (мРНК) — копия участка ДНК, где записана информация о числе, составе и последовательности аминокислотных остатков, определяющих структуру и функции белковой молекулы. Таким образом, в мРНК заключён план построения молекулы полипептида.

Роль ***транспортной РНК (тРНК)*** состоит в присоединении молекулы аминокислоты и транспортировке её к месту сборки белковой молекулы.

Рибосомальная РНК (рРНК) соединяется с белком и образует особые органоиды клетки — рибосомы. Благодаря им осуществляется сборка полипептидной цепи.

Вопросы и задания

1. Используя информацию, которую содержат рис. 6 и 7, установите черты сходства и различия в структуре белков и нуклеиновых кислот.
2. Объясните происхождение термина «полинуклеотид». В чём различия в строении нуклеотидов ДНК и РНК?
3. Охарактеризуйте особенности первичной и вторичной структуры ДНК.
4. Представьте материал параграфа о сходстве и отличии ДНК и РНК в виде схемы в тетради.
5. Докажите, что принцип комплементарности играет решающую роль в самовоспроизведении ДНК.
6. Охарактеризуйте функции нуклеиновых кислот в клетке.
7. С помощью каких методов исследования Дж. Уотсон и Ф. Крик установили молекулярную структуру ДНК?
8. Прочтите книгу Дж. Уотсона «Двойная спираль» (www.bookz.ru) и выступите перед одноклассниками с сообщением на тему «История открытия структуры ДНК».

§ 6. Липиды. АТФ

Почему жиры — важный компонент питания?

Липиды (от греч. *lipos* — жир) — органические соединения, основным компонентом которых являются жирные кислоты. В отличие от белков, полисахаридов, ДНК и РНК, липиды не относят к макромолекулам. Они малорастворимы в воде, но хорошо растворяются в эфире, бензине, хлороформе и некоторых других растворителях. Это в значительной степени объясняет то, что у токсикоманов, нюхающих растворители, в скором времени развивается деструкция (разрушение) мозговой ткани, в составе клеток которой много липидов.

Выделяют липиды простые и сложные. Молекулы простых липидов состоят из остатков жирных кислот и спиртов. К этой группе относятся ***жиры*** (рис. 9). Они запасаются в виде капелек в цитоплазме клеток и служат ценным источником энергии. При их расщеплении энергии выделяется в 2 раза больше, чем при расщеплении такого же количества глюкозы.

В жировой ткани жиры составляют до 90 % сухой массы клеток. Помимо энергетической жиры выполняют в организме следующие функции:

- защитную, так как жировая ткань предохраняет внутренние органы организма от повреждений при падениях, ударах;
- теплоизоляционную, поскольку жировая ткань плохо проводит тепло и тем самым защищает организм от переохлаждения, что особенно важно для обитателей районов с холодным климатом.

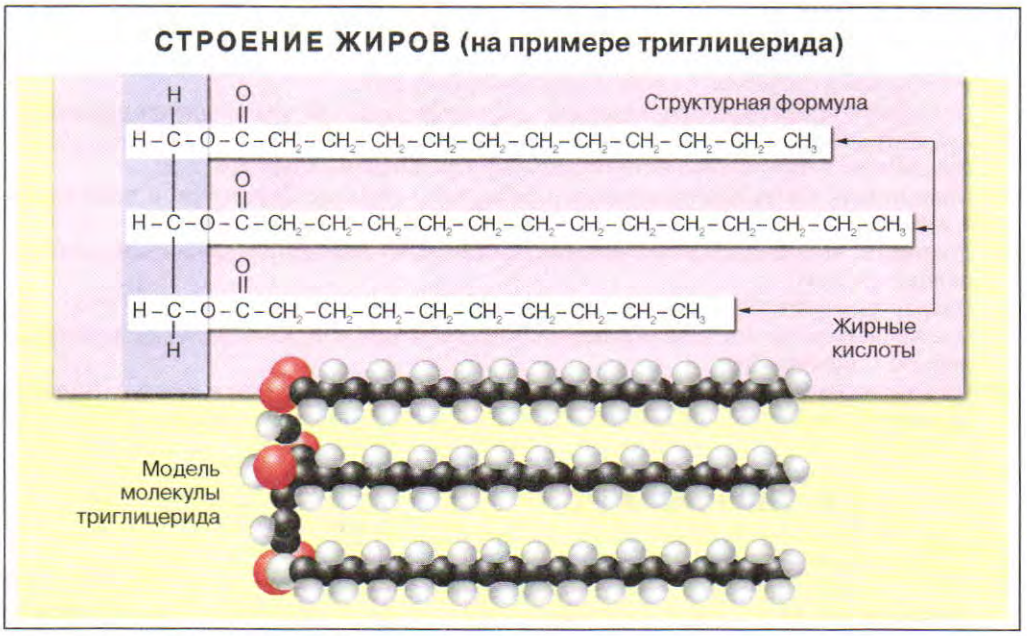


Рис. 9. Большинство жиров состоит из трёхатомного спирта глицерина и жирных кислот

Кроме того, запасы жира в подкожной клетчатке млекопитающих позволяют им переживать неблагоприятные периоды, связанные с недостатком корма и воды. Животные, обитающие в пустынях, значительную часть необходимой для жизнедеятельности воды получают благодаря расщеплению в организме жиров.

Комплексы липидов с молекулами других веществ, например белков и углеводов, относят к группе сложных липидов.

Особо выделяют *фосфолипиды*, в состав которых входит фосфатная группа. В клетке фосфолипиды выполняют структурную функцию: они входят в состав клеточных мембран — тонких плотных плёнок, которыми «одеты» все клетки и большинство внутриклеточных органоидов.

АТФ (аденозинтрифосфорная кислота). Ни одна живая система не может существовать без притока энергии, которая используется для синтеза необходимых соединений, размножения, выделения продуктов жизнедеятельности и других жизненно важных процессов. Одни организмы (например, растения) используют энергию Солнца, а другие

(животные, грибы) — энергию, заключённую в готовых органических веществах.

Энергия запасается в клетках в виде особого химического соединения — ***аденозинтрифосфорной кислоты — АТФ***, которая выполняет в живых системах роль накопителя и хранителя энергии.

Молекула АТФ по своему строению является нуклеотидом, в состав которого входят азотистое основание аденин, сахар рибоза и три остатка фосфорной кислоты. Остатки фосфорной кислоты соединяются друг с другом особыми химическими связями, называемыми ***макроэргическими***. Макроэргические связи (их в АТФ две) богаты энергией, непрочны, легко разрываются. При разрыве макроэргической связи освобождается 38 кДж энергии, которая используется для совершения всех видов работы. АТФ теряет одну фосфатную группу и превращается в АДФ — аденозиндифосфорную кислоту (рис. 10). Если отрываются сразу два остатка фосфорной кислоты, то АТФ превращается в АМФ — аденозинмонофосфорную кислоту, содержащую лишь одну молекулу фосфорной кислоты.

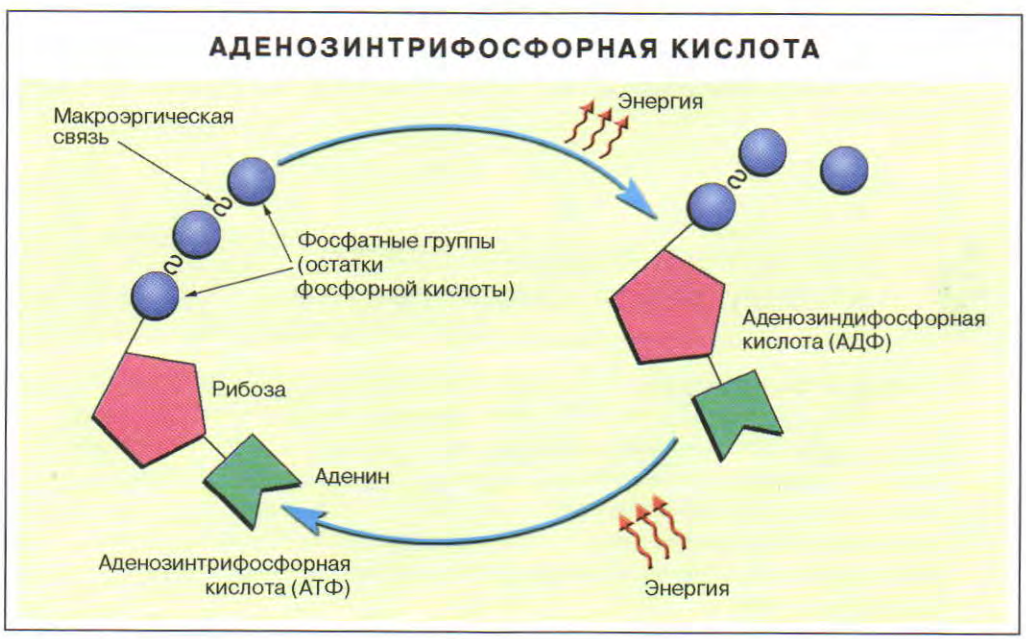


Рис. 10. Строение аденозинтрифосфорной кислоты. При разрыве макроэргической связи выделяется энергия, АТФ превращается в АДФ

Запас АТФ в клетках организмов ограничен и пополняется посредством присоединения фосфатной группы к АДФ во время процессов дыхания, брожения или фотосинтеза. АДФ, присоединив остаток фосфорной кислоты, преобразуется в АТФ и восстанавливает запас энергии в клетке (см. рис. 10).

Вопросы и задания

1. Используя информацию, которую содержит рис. 9, установите особенности молекулярного строения жиров, которые определяют химические свойства этих соединений и их роль в организме.
2.* Используя знания из предыдущих разделов биологии, а также физики, докажите, что жиры могут выполнять множество функций в организме животных.
3. Почему молекулу АТФ называют аккумулятором энергии в клетке? Объясните, какие особенности химического строения АТФ определяют роль этого вещества в организме.
4. Охарактеризуйте процессы взаимопревращений в системе АТФ — АДФ — АМФ. Какова роль макроэргических связей в превращении и хранении энергии?
5. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета (www.ru.wikipedia.org, www.medicall.ru, www.elementy.ru), подготовьте презентацию на тему «Жиры в нашем рационе».
6. «Предупреждён — значит вооружён». Прокомментируйте это выражение применительно к человеку, обладающему информацией о свойствах и роли липидов в клетках и организме.

5 СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ КЛЕТКИ — ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЖИВОЙ СИСТЕМЫ

Нельзя понять живое без изучения его элементарной системы — клетки. «В клетке, — писал К. А. Тимирязев в знаменитом труде “Жизнь растения”, — мы должны видеть начало всякого организма». Знания о строении, химическом составе и процессах жизнедеятельности клетки накапливались постепенно. Открытие за открытием позволили учёным получить наиболее полное представление об элементарной живой системе органического мира.

Клетка — элементарная живая система, обладающая сложной структурой, осуществляющая обмен веществ и энергии с окружающей средой, саморегулирующаяся и самовоспроизводящаяся.

§ 7. Возникновение представлений о клетке. Клеточная теория

Правильно ли утверждать, что клетка — единица строения и жизнедеятельности организмов?

История развития знаний о клетке. Методы изучения клетки. В истории возникновения научных знаний о клетке можно условно выделить два этапа.

Первый этап (XVII — конец XIX в.) характеризуется тем, что в этот период для изучения клетки применяли микроскоп, который давал небольшое увеличение.

Изобретателем первого микроскопа считают итальянского учёного Г. Галилея. В XVI в. он сконструировал прибор, который увеличивал объекты в 35—40 раз. Впоследствии его назвали микроскопом.

Английский естествоиспытатель Р. Гук, используя свою конструкцию увеличительного прибора, наблюдал тонкий срез пробки, построенной из ячеек, напоминавших пчелиные соты. Эти ячейки Гук назвал клетками.

Голландский натуралист А. Левенгук усовершенствовал устройство микроскопа. Благодаря тому что его прибор обладал разрешающей способностью в 200 раз, Левенгуку удалось обнаружить в капельке воды простейших животных и бактерий (рис. 11).

Для любознательных

В это время изучали в основном мёртвые клетки. Позднее чешский учёный Ян Пуркинье разработал прибор для приготовления тонких срезов тканей. Он первым предложил способ их подкрашивания для более чёткого наблюдения, сделал попытку фотографировать препарат через окуляр микроскопа. Таким образом, знания об элементарной живой системе углублялись и расширялись параллельно совершенствованию методов её исследования.

В 1831 г. английский ботаник Р. Броун опубликовал свои микроскопические наблюдения над орхидеями, в которых он чётко описал ядро растительной клетки. А немецкий физиолог Т. Шванн обнаружил ядро в клетках животных.

В дальнейшем Т. Шванн суммировал результаты многих известных к тому времени открытий. Основные теоретические выводы, получившие название ***клеточной теории***, он изложил в своей книге «Микроскопические исследования». Главная идея книги — ткани растений и животных состоят из клеток.

Мысли о том, что клетка — единица строения живых организмов, высказывал также немецкий ботаник М. Шлейден.

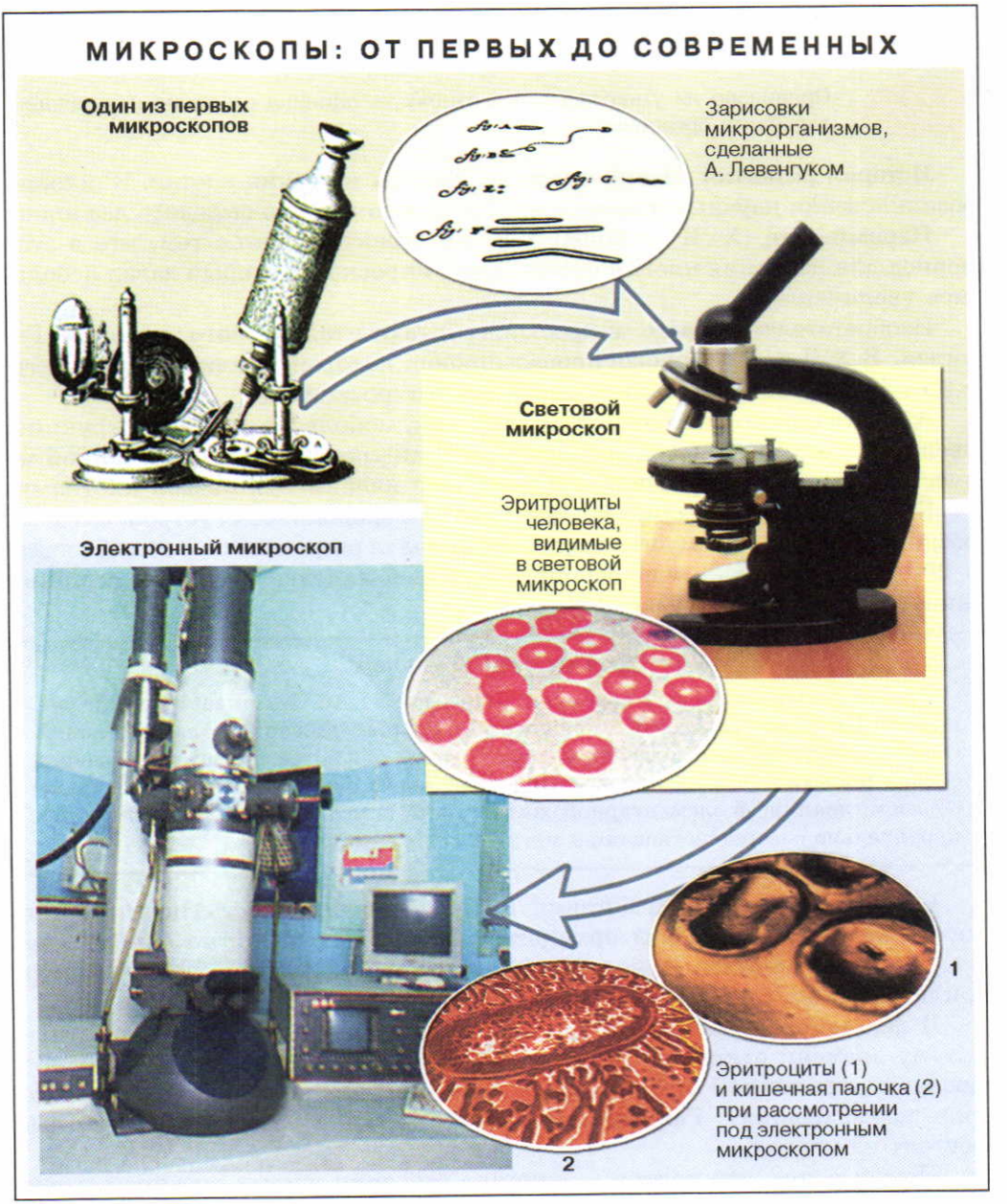


Рис. 11. По мере того как совершенствовались микроскопы, углублялись и расширялись знания о клетке

Дальнейшие открытия в области изучения клетки не только доказали правильность взглядов Т. Шванна, но и обогатили клеточную теорию новыми фактами. Так, в середине XIX в. было открыто деление клеток. Стало понятным, что новые дочерние клетки образуются путём деления материнской клетки. Используя более совершенные микроскопы, учёным удалось описать ряд органоидов клетки: митохондрии, аппарат Гольджи, клеточный центр и др.

Второй этап в истории исследования клетки начинается в XX в. Совершенствуются оптические микроскопы, разрабатываются новые методы изучения клетки.

В начале XX в. благодаря методу клеточных культур стало возможным изучать живую клетку. Метод клеточной культуры заключается в том, что клетки различных тканей выращивают на специальной питательной среде. При этом исследуют не только строение, но и процессы, происходящие в живой клетке.

К началу XX в. был сконструирован первый микроманипулятор, который позволил проводить операции на клетке, извлекать органоиды и исследовать их строение (рис. 12).

В 30-х годах XX в. немецкими физиками был создан ***электронный микроскоп*** (рис. 11), благодаря которому достигается увеличение более чем в 1 000 000 раз.

Немного позднее была сконструирована первая *препаративная центрифуга*. Она представляет собой агрегат, внутрь которого помещают разрушенные клетки. Их подвергают вращению с огромной скоростью. При низких скоростях вращения крупные органоиды клетки, например ядра, быстро оседают на дно центрифужной пробирки. При более высоких скоростях образуют осадок менее крупные органоиды — митохондрии.

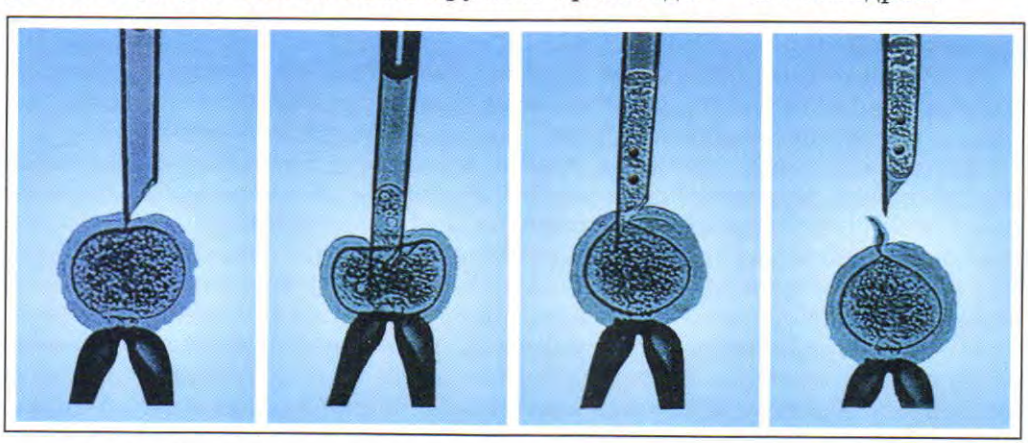


Рис. 12. Извлечение ядер из оплодотворённой клетки микроинструментами

Таким образом выделяют самые мельчайшие компоненты клетки и по отдельности исследуют их строение и функцию. Например, с помощью центрифугирования были выделены митохондрии — органоиды клетки, в которых осуществляется синтез АТФ.

Основные положения современной клеточной теории. К настоящему времени подробно изучены химический состав клетки, её строение, обмен веществ, размножение и другие особенности. Однако наука движется вперёд, расширяя и углубляя знания о клетке. Изучением клетки занимается наука ***цитология*** (от греч. *kytos* — клетка, *logos* — учение, наука).

Обобщив научные данные о клетке, учёные сформулировали основные положения современной клеточной теории.

- Клетка — единица строения, жизнедеятельности, роста и развития организмов. Все организмы (за исключением вирусов) состоят из клеток.
- Новые дочерние клетки образуются путём деления материнской клетки.
- Клетка состоит из множества закономерно связанных друг с другом элементов, представляющих собой целостное образование.
- Клетки многоклеточных организмов образуют ткани, ткани образуют органы. Жизнь организма в целом обусловлена взаимодействием составляющих его клеток.
- Клетки многоклеточных организмов имеют полный набор генов, но отличаются друг от друга тем, что у них работают различные группы генов, следствием чего является морфологическое функциональное разнообразие клеток — дифференцировка.

Значение клеточной теории заключается в том, что она дала ключ к пониманию многоклеточного организма как сложно организованной системы, состоящей из функционирующих и взаимодействующих клеток.

Многообразие клеток. Мир клеток огромен и многообразен. Клетки различаются по форме, величине, особенностям строения и жизнедеятельности (рис. 13).

Одноклеточные водоросли и простейшие по общему плану строения и набору органоидов сходны с клетками многоклеточных организмов, однако они сочетают свойства клетки и самостоятельного организма.

В строении клеток бактерий, грибов, растений и животных можно найти ряд различий. Отличительная черта бактерий — отсутствие в их клетках ядра. У многоклеточных организмов клетки объединены в ткани. Клетки многоклеточного организма, как правило, высокоспециализированны. Каждая клетка или группы клеток выполняют строго определённую функцию, что сказывается на особенностях их строения. Например, функция нейронов — проведение нервных импульсов, в связи с чем главной структурной особенностью нервных клеток служит наличие у них отростков (аксона и дендритов). Красные кровяные клетки (эритроциты) осуществляют транспорт кислорода и углекислого газа. У млекопитающих зрелые эритроциты

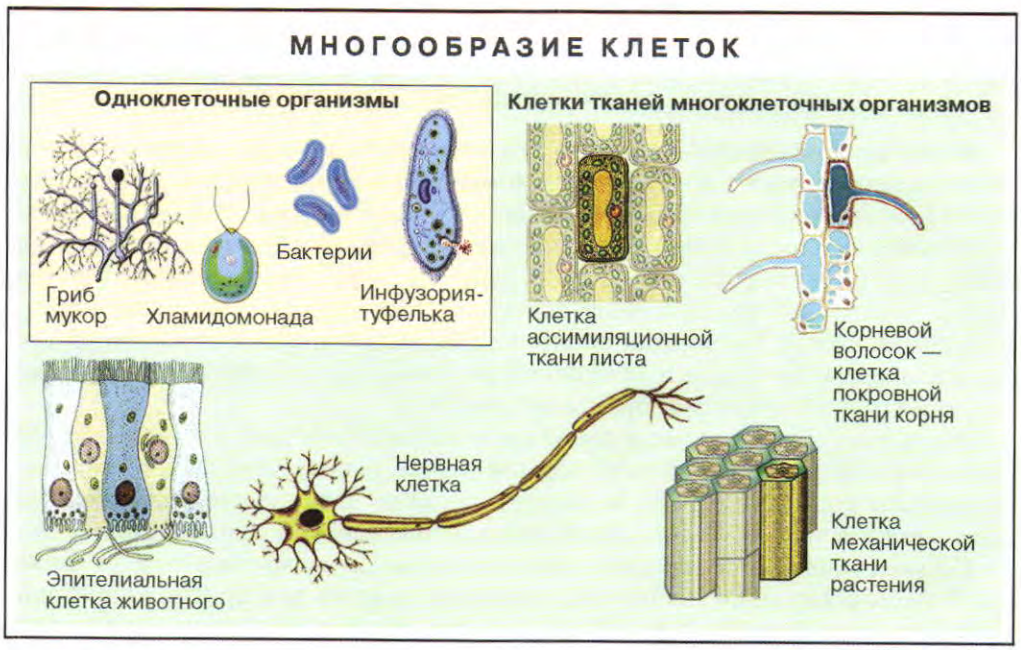


Рис. 13. Клетки разнообразны по размерам, форме, особенностям строения и жизнедеятельности

безъядерные. Эта особенность строения значительно снижает их собственную потребность в кислороде.

Размеры клеток также варьируют. Например, одноклеточный малярийный плазмодий так мал, что паразитирует в эритроцитах человека. А яйцеклетки пресмыкающихся и птиц довольно велики: они содержат значительный запас питательных веществ, необходимых для развития зародыша вне материнского организма. Если величина типичной клетки тела многоклеточного организма всего лишь около 20 мкм, т. е. 0,02 мм, то диаметр яйцеклеток у птиц и рептилий измеряется сантиметрами.

Вопросы и задания

1. Охарактеризуйте этапы накопления научных знаний о клетке.
2. Докажите, что накопление научных данных в области цитологии шло параллельно с развитием других наук.
3. Охарактеризуйте основные положения современной клеточной теории, проиллюстрировав каждое положение примерами из изученных ранее разделов биологии.
4. Дайте вашу оценку вкладу М. Шлейдена и Т. Шванна в современную науку о клетке.

§ 8. Структура клетки

Каковы различия в строении животной и растительной клетки?

Клеточная оболочка. Клетка — это целостная система, где каждый компонент взаимосвязан с другими. Такая взаимосвязь органоидов обеспечивает упорядоченность клетки как системы. Отделяет клетку от внешней среды *клеточная оболочка* (рис. 14). Она прочная, так как в её состав входят целлюлоза (у растений) или хитин (у грибов). Клеточная оболочка придаёт форму клетке, но это не просто механический каркас. Она растяжима и способна к росту. Клеточная оболочка защищает клетку от внешней среды, являясь своеобразным противоинфекционным барьером, и принимает участие в поглощении минеральных веществ.

Животная клетка, в отличие от растительной, не имеет клеточной оболочки, её поверхность покрыта особым слоем, основу которого составляют комплексы полисахаридов с белками и жирами. Однако сходство всех клеток состоит в том, что они окружены плазматической мембраной.

Плазматическая мембрана. Плазматическая мембрана представляет собой барьер для одних веществ и «систему ворот» для других. Мембрана обладает способностью пропускать внутрь нужные вещества, закрывать путь другим и выводить продукты жизнедеятельности. Таким образом, одна из главных и наиболее важных функций мембраны — избирательный транспорт веществ в клетку и из неё. Выполнение данной функции возможно благодаря особенностям строения: плазматическая мембрана состоит из двойного фосфолипидного слоя, пронизанного молекулами белков (рис. 14).

Какими свойствами обладают липиды?

Двойной фосфолипидный слой — барьер для большинства водорастворимых молекул. Особенно хорошо плазматическая мембрана пропускает внутрь различные органические растворители, например спирт, эфир, хлороформ. Этим объясняется быстрое всасывание алкоголя клетками кишечника и проникновение его в кровь.

Белки плазматической мембраны выполняют разнообразные функции: например, одни транспортируют молекулы веществ внутрь клетки и из неё, другие, как рецепторы, получают сигналы извне и передают их в клетку.

Большинство белков мембраны, а также некоторые молекулы фосфолипидов связаны с углеводными цепями. Учёные считают, что углеводы

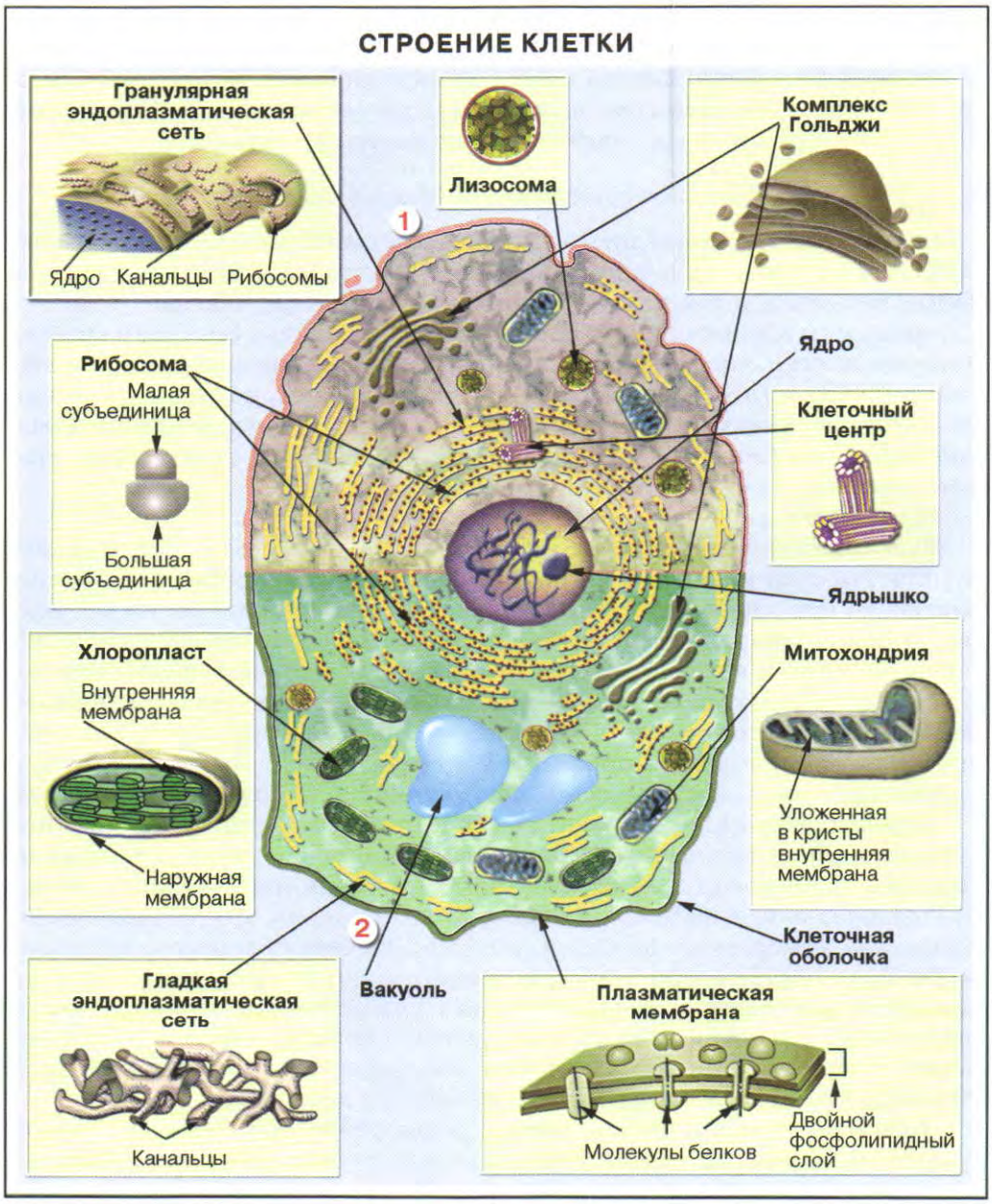


Рис. 14. Строение животной (1) и растительной (2) клеток

мембраны принимают участие в процессах межклеточного узнавания, например при образовании тканей и органов развивающегося зародыша.

Органоиды клетки. Клетка имеет сложное строение. Всё её содержимое состоит из ядра, ***цитоплазмы*** и включённых в неё органоидов. Цитоплазму можно легко разделить на части методом центрифугирования.

Вспомните, каков принцип работы препаративной центрифуги.

Осадок будут представлять органоиды как наиболее тяжёлые, а сверху останется основное вещество цитоплазмы, в котором растворены органические вещества, в том числе огромное количество ферментов.

Органоиды клетки принято объединять в две группы. В состав эндоплазматической сети, митохондрий, аппарата Гольджи, лизосом, а также хлоропластов (в растительных клетках) входят мембраны, по своему строению схожие с плазматической. Эти органоиды относят к группе ***мембранных***. Рибосомы и цитоскелет, строение которых не связано с мембранами, принято называть ***немембранными*** органоидами.

Рассмотрим их роль в живой клетке.

Эндоплазматическая сеть (от греч. *endon* — внутри) — необычайно извилистая сеть каналов и полостей, образованная мембранами, пронизывающая всю цитоплазму и разделяющая её на отсеки. Она играет роль связующего звена между всеми органоидами. На эндоплазматической сети синтезируются в основном белки и липиды. В синтезе белков активное участие принимают ***рибосомы*** — мелкие компактные частицы, лишённые мембран. Они состоят из двух субчастиц — большой и малой — и содержат приблизительно в равных долях РНК и белок. Эндоплазматическую сеть, содержащую рибосомы, называют ***гранулярной***, а без рибосом — ***гладкой***.

Периодически на эндоплазматической сети формируются транспортные пузырьки с синтезированными веществами. Они направляются в ***аппарат Гольджи*** — органоид клетки, названный по имени итальянского учёного К. Гольджи, описавшего его в 1898 г. Этот органоид представляет собой множество мембранных полостей, похожих на стопку тарелок. В аппарате Гольджи органические вещества претерпевают превращения. Часть из них составляет содержимое секреторных пузырьков. Это белки и другие соединения, подлежащие выводу из клетки и используемые на нужды организма, например пищеварительные ферменты, белки грудного молока. Ряд веществ накапливается и упаковывается в лизосомы.

Лизосомы (от греч. *lysis* — распад, растворение, *sōma* — тело) — мембранные мешочки, заполненные ферментами, служащими для разрушения макромолекул ненужных клетке веществ. Кроме того, лизосомы участвуют в расщеплении больших частиц и микроорганизмов, захваченных клеткой.

Способность отдельных клеток захватывать и переваривать твёрдые органические частицы впервые описал русский учёный И. И. Мечников, назвав этот процесс ***фагоцитозом*** (от греч. *phagos* — пожирающий, *kytōs* — клетка).

Для любознательных

С помощью выпячиваний цитоплазмы некоторые клетки захватывают бактерии или другие твёрдые частицы. После того как края цитоплазмы смыкаются, внутри клетки образуется пузырёк — фагоцитарная вакуоль. С током цитоплазмы она перемещается по направлению к лизосоме, с которой впоследствии и сливается. Ферменты лизосомы расщепляют поступившие в клетку органические частицы.

Лизосомы содержат около 40 ферментов, способных разрушать структуры самой клетки при её отмирании или в ходе эмбрионального развития организма при замене зародышевых тканей на постоянные.

Фагоцитоз характерен для лейкоцитов и имеет огромное значение в защите организма человека от болезнетворных микробов. Это положение легло в основу фагоцитарной теории иммунитета, разработанной И. И. Мечниковым.

Пиноцитоз (от греч. *pinō* — пить, *kytōs* — клетка) — процесс захвата и поглощения клеткой капелек жидкости.

Для синтеза новых соединений клетке необходима энергия, которая образуется в особых структурах клетки — митохондриях и хлоропластах. ***Митохондрии*** и ***хлоропласты*** — органоиды, которые обеспечивают клетку доступной энергией. Они окружены двойными мембранами: наружной и внутренней (см. рис. 14). Внутренняя мембрана митохондрий образует складки (кристы) и включает большое число ферментов, участвующих в окислении органических веществ.

В результате окисления органических веществ — сахаров и жирных кислот — высвобождается энергия, которая запасается в макроэргических связях АТФ. О роли, выполняемой АТФ в клетке, вам известно из предыдущих параграфов учебника (см. § 6).

Хлоропласты — органоиды растительной клетки, содержащие пигмент хлорофилл и служащие очень эффективной структурой для выработки энергии АТФ. Однако источником энергии для них служит солнечный свет, а не сахара и жирные кислоты.

В клетках растений присутствуют вакуоли — мембранные полости, в которых запасаются растворённые вещества в виде клеточного сока. Вакуоли образуются из эндоплазматической сети.

Часто органические и неорганические вещества могут откладываться в клетках в виде включений. Включения — непостоянные образования.

К ним относятся крахмальные зёрна и кристаллы солей в растительных клетках, зёрна гликогена и гранулы секрета в клетках животных.

Активное передвижение органоидов клетки обеспечивает ***цитоскелет*** — сложная сеть белков и микротрубочек, пронизывающих цитоплазму. Цитоскелет образно можно назвать «клеточной мускулатурой». Часть цитоскелета образует ***клеточный центр***, играющий важную роль в делении клетки.

Ядро координирует работу компонентов клетки, обеспечивает нормальное протекание всех жизненных процессов, включая размножение.

Итак, клетка, как любая биосистема, имеет сложную структуру. Все компоненты клетки работают упорядоченно, слаженно. В клетку поступают различные вещества, являющиеся источником энергии и строительного материала для синтеза новых соединений. В митохондриях происходит их расщепление с выделением энергии. Новые соединения синтезируются на эндоплазматической сети, проходят «сортировку» в аппарате Гольджи и транспортируются в нужном клетке направлении. Продукты жизнедеятельности удаляются из клетки при участии лизосом и через плазматическую мембрану. Активное передвижение цитоплазмы с органоидами обеспечивает цитоскелет. В клетки животных поступают готовые органические вещества. Растения сами синтезируют органические вещества из неорганических в хлоропластах, используя для этого энергию Солнца.

Благодаря высокой специализации и согласованной работе всех компонентов обеспечивается взаимосвязь клетки и среды. Клетка представляет собой открытую систему. Координирует работу всей элементарной живой системы ядро.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Сравнение строения растительной и животной клеток

Цель работы — выявить черты сходства и различия в строении клеток растений и животных.

Приготовьте микропрепарат листа водного растения элодеи (можно использовать и предложенные учителем готовые микропрепараты листа растения). Для этого отделите пинцетом один лист, поместите его в каплю воды на предметное стекло, прикройте сверху покровным стеклом и наблюдайте под микроскопом. Отметьте наличие в клетках клеточной стенки, сохраняющей форму клетки, тонкой плазматической мембраны, цитоплазмы, в которой находятся ядро и многочисленные зелёные пластиды — хлоропласты.

Для того чтобы рассмотреть один из компонентов растительной клетки — вакуоль с клеточным соком (в клетках листа элодеи её наблюдать сложно), можно использовать готовый микропрепарат клетки кожицы лука.

Зарисуйте клетку листа элодеи и клетку кожицы лука, отметьте компоненты растительной клетки, видимые в микроскоп.

Для сравнения рассмотрите под микроскопом готовый микропрепарат инфузории-туфельки. Отметьте компоненты животной клетки: цитоплазматическую мембрану, цитоплазму, ядро (в данном случае два ядра), реснички — органоиды движения. Обратите внимание на пищеварительную и сократительную вакуоли, выполняющие иные функции, нежели вакуоли растительных клеток.

Зарисуйте животную клетку, отметьте её компоненты, видимые в световой микроскоп.

Сделайте общий вывод о сходстве и различиях в строении растительной и животной клеток.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Изучение тканей растений и животных

Цель работы — убедиться в том, что особенности строения ткани неразрывно связаны с выполняемыми ею функциями.

Рассмотрите под микроскопом готовые микропрепараты растительных тканей: покровной, всасывающей и механической.

Отметьте в каждом случае форму клеток. Обратите внимание на то, что клетки эпидермиса листа плотно прилегают друг к другу, а корневые волоски имеют значительные выросты. Отметьте толщину клеточных стенок лубяных волокон. С какими функциями этих тканей в каждом из перечисленных случаев связаны их особенности строения?

Рассмотрите под микроскопом и сравните готовые микропрепараты животных тканей: нервной, поперечно-полосатой мышечной, соединительной («Кровь человека»).

Обратите внимание на звёздчатую форму нейронов, наличие у них длинного и коротких отростков. Отметьте особое строение поперечно-полосатой мышечной ткани. Почему она так называется? Какие функции в организме выполняет каждая из этих тканей?

При изучении микропрепарата соединительной ткани «Кровь человека» обратите внимание на наличие большого количества межклеточного вещества и взвешенные в нём клетки. Какую форму имеют эритроциты? Содержат ли они ядро? С какой функцией крови связаны особенности её строения?

По итогам лабораторной работы заполните таблицу.

№	Название ткани	Особенности строения	Функции в организме

Вопросы и задания

1. Раскройте роль клеточной оболочки. В каких клетках она отсутствует?
2. Выявите взаимосвязь между строением плазматической мембраны и её функциями в клетке.

3. Благодаря каким компонентам клетка получает вещества извне, синтезирует новые, обеспечивает себя энергией?
4. Сравните митохондрии и хлоропласты, выявите черты их сходства и различия.
5. Учитывая строение и функции митохондрий и аппарата Гольджи, предположите, в клетках каких тканей и органов эти органоиды будут особенно развиты.
6. Представьте аргументы в пользу утверждения «Клетка — структурно-функциональная единица живого, целостная открытая система».
7. Используя текст параграфа и рис. 14, выберите информацию о строении и функциях органоидов клетки и оформите её в виде таблицы.

§ 9. Строение и функции ядра. Прокариоты и эукариоты

Почему бактерии выделяют в особое царство?

Строение и роль ядра. Ядро — самый крупный компонент клетки и её регулирующий центр. Как правило, клетка имеет одно ядро, но встречаются и двуядерные (у инфузорий) и многоядерные клетки (у некоторых грибов).

Снаружи ядро окружает ***ядерная оболочка***, которая представлена двойной мембраной, непосредственно связанной с эндоплазматической сетью (рис. 15). Ядерные мембраны пронизаны многочисленными порами. Через эти поры осуществляется взаимодействие ядра и цитоплазмы. Например, в ядро из цитоплазмы поступают нуклеотиды, белки.

В состав каких органических соединений в качестве мономера входят нуклеотиды? Вспомните, из каких компонентов состоит нуклеотид.

Содержимое ядра представляет собой ***ядерный сок***, в котором присутствуют помимо прочих соединений молекулы ДНК. ДНК, объединяясь с белками, образует ***хроматин***, представляющий собой беспорядочно уложенные тонкие нити. Перед делением клетки хроматиновые нити уплотняются, их компактность возрастает во много раз, формируются особые структуры — ***хромосомы***.

Каждая молекула ДНК упакована в отдельную хромосому. У человека, например, в неполовых клетках 46 хромосом. В них сосредоточена вся информация о строении, функционировании и развитии человеческого организма. В одной хромосоме человека содержится от $50 \cdot 10^6$ до $250 \cdot 10^6$ нуклеотидных пар. В нескрученном состоянии такая молекула ДНК достигала бы 8,5 см. Компактность ДНК придают особые белки.

Рис. 15. Строение ядра

Для любознательных

Термин «хромосома», означающий «окрашенное тело», предложен в 1888 г. немецким морфологом В. Вальдейером. Ещё в конце XIX в. было установлено, что для каждого вида животных, растений, грибов характерно определённое, неизменное число хромосом.

ДНК — носитель наследственной биологической информации — программы развития клетки и организма, записанной с помощью особого кода. Главная её функция — управление всеми процессами клетки через образование молекул РНК.

Молекулы РНК участвуют в синтезе белков, без которых не обходится ни одна химическая реакция в клетке. Белки входят в состав клеточных мембран, обеспечивают передвижение органоидов, проводят сигналы извне, выполняют немало других функций. Коды этих белков содержатся в генах.

Ген (от греч. *genos* — род, происхождение) — фрагмент ДНК, содержащий информацию об одной макромолекуле. Это может быть матричная РНК

(мРНК), на которую копируется план построения белковой молекулы. В этом случае ген несёт информацию о структуре полипептида. Некоторые гены отвечают за образование транспортных (тРНК) и рибосомальных (рРНК) рибонуклеиновых кислот, играющих в жизни клетки не менее важную роль.

? Каковы функции тРНК и рРНК в клетке?

Самым заметным компонентом ядра клетки является ***ядрышко***, представляющее собой части хромосом, на которых расположены гены, кодирующие рибосомальную РНК (см. рис. 15). Рибосомальные РНК образуются в ядрышке, здесь же соединяются с белками, а сборка самих рибосом осуществляется уже в цитоплазме.

Итак, в ядре сосредоточена наследственная информация о строении, жизнедеятельности, размножении и развитии клетки. Поэтому ядро можно назвать её координирующим центром. Другими словами, клетка живёт согласно жёсткому плану, записанному в молекулах ДНК.

Прокариоты и эукариоты. Клетки растений, животных и грибов в своём строении имеют много общего: все они окружены цитоплазматической мембраной, их содержимое включает цитоплазму, ядро, мембранные и немембранные органоиды. Особняком стоят клетки бактерий. Отличительная особенность бактериальной клетки заключается в отсутствии ядра. ДНК, которая у других организмов находится в ядре и оформлена в хромосомы, в клетках бактерий свободно присутствует в цитоплазме в виде кольца.

Организмы, в клетках которых не содержится морфологически обособленного ядра, называют ***прокариотами*** (от лат. *pro* — перед, раньше, от греч. *karyon* — ядро). Прокариотная клетка организована достаточно примитивно. Помимо ядра в ней отсутствуют органоиды, имеющие мембранное строение, например митохондрии, пластиды, эндоплазматическая сеть. В цитоплазме содержатся многочисленные мелкие рибосомы. Обмен веществ и энергии осуществляется на различных выступах и складках клеточной мембраны.

К прокариотам относят более 3000 видов организмов, объединённых в особое царство Дробянки, представленное бактериями и синезелёными водорослями (цианеями).

Другую группу составляют ***эукариоты*** (от греч. *eu* — хорошо, полностью и *karyon* — ядро) — организмы, в клетках которых имеется ядро, отграниченное от цитоплазмы ядерной оболочкой. К ним относят растения, животных, грибы.

Вопросы и задания

1. Охарактеризуйте строение ядра.
2. Дайте определения понятиям «хромосома», «ген».
3. Сравните клетки прокариот и эукариот. Выявите черты сходства и различия.
4. Правильно ли утверждать, что, если прокариотная клетка не содержит ядра, она не обладает наследственной информацией? Свой ответ аргументируйте.
5. Используя текст параграфа, составьте логическую схему, отражающую роль ядра в синтезе белков. Разнообразные связи между структурными компонентами ядра, нуклеиновыми кислотами и белками обозначьте стрелками.

§ 10. Обмен веществ и превращение энергии — основные свойства живых систем

Почему обмен веществ — непременное условие существования живой системы?

Обмен веществ и его составляющие. Любая живая система, как вам уже известно, является открытой, т. е. неразрывно связана со средой посредством потока вещества и энергии.

Обмен веществ и превращение энергии осуществляются на клеточном и молекулярном уровнях и складываются из трёх взаимосвязанных процессов: поступления в клетку химических соединений и энергии извне, преобразования их и удаления продуктов жизнедеятельности.

Проникновение веществ в клетку может происходить различными способами. Чаще всего молекулы различных соединений поступают через цитоплазматическую мембрану.

Важность потребления извне различных веществ объясняется необходимостью в построении и обновлении структур клетки, в состав которых входят белки, жиры, углеводы, нуклеиновые кислоты. Основным компонентом этих сложных органических соединений является углерод.

Автотрофы и гетеротрофы. Источником углерода для некоторых организмов служит углекислый газ воздуха. В клетках зелёных растений и ряда бактерий углекислый газ используется для синтеза углеводов.

Организмы, клетки которых используют неорганический источник углерода для синтеза органических веществ, относят к ***автотрофам*** (от греч. *autos* — сам, *trophē* — пища, питание). Это растения и ряд бактерий.

Гетеротрофы (от греч. *heteros* — другой, *trophē* — питание) — живые организмы, в клетках которых для синтеза органических соединений используется органический источник углерода. В отличие от автотрофов клетки подавляющего числа животных, грибов и некоторых бактерий не спо-

собны к усвоению неорганического углерода. Для синтеза строительных блоков, составляющих клеточные структуры, гетеротрофы используют углерод высокомолекулярных органических веществ.

Образование сложных макромолекул не может обойтись без энергии. Энергия необходима клетке и для осуществления всех жизненно важных процессов. Существуют два вида энергии, доступные живым организмам: *световая* и *химическая*.

Световая энергия (энергия солнечного излучения) используется клетками подавляющего числа автотрофов. Особый пигмент хлорофилл, содержащийся в хлоропластах растительных клеток, способен улавливать энергию солнечных лучей и запасать её в макроэргических связях молекул АТФ.

Для гетеротрофов световая энергия недоступна. Главным источником энергии для них служат высокомолекулярные органические соединения, поступающие в клетку. При разрыве химических связей в молекулах жиров, углеводов, белков высвобождается энергия, используемая в дальнейшем клеткой на рост, развитие, деление и другие процессы жизнедеятельности.

Преобразование веществ в клетке достигается путём непрерывного осуществления двух типов реакций — расщепления и синтеза (рис. 16).

Реакции расщепления сложных органических соединений до более простых называют ***энергетическим обменом***. Этот процесс, который

Рис. 16. Реакции расщепления и синтеза, протекающие в клетке, обеспечивают преобразование веществ и энергии

поставляет множество промежуточных продуктов для синтетических процессов, идёт с освобождением энергии, заключённой в сложных веществах, и накоплением её в соединении, свойственном клетке, — АТФ.

Другой тип реакций, характерных для клетки, — реакции синтеза сложных веществ из более простых — ***пластический обмен***. Примером может служить синтез белков, углеводов, ДНК.

Важно понять, что клетка как система способна существовать лишь при условии непрерывной взаимосвязи пластического и энергетического обмена. Энергия, высвобождающаяся в ходе реакций расщепления, используется клеткой на процессы синтеза. В то же время энергетический обмен протекает при активном участии множества ферментов, синтезируемых клеткой в реакциях пластического обмена.

Вопросы и задания

1. Объясните, почему обмен веществ — необходимое условие существования живой системы.
2. Охарактеризуйте три составляющие обмена веществ.
3. Выявите различия в обмене веществ в клетках автотрофов и гетеротрофов.
4. Назовите реакции, лежащие в основе преобразования веществ в клетке.
5. Почему живая система способна существовать только при условии непрерывной взаимосвязи пластического и энергетического обмена? Ответ аргументируйте.

§ 11. Фотосинтез

В чём заключается космическая роль растений?

Фотосинтез. История его изучения. Реакции пластического обмена требуют большого количества энергии. Большинство автотрофов используют для синтеза сложных органических соединений углекислый газ, а в качестве источника энергии — солнечное излучение. Сложный многоступенчатый процесс фотосинтеза протекает в клетках зелёных растений и фотосинтезирующих бактерий.

Фотосинтез — процесс образования органических соединений из углекислого газа и воды, осуществляемый при участии лучистой энергии Солнца. В ходе фотосинтеза образуется кислород, который выделяется в окружающую среду.

Климент Аркадьевич Тимирязев
(1843—1920)

Для любознательных

К пониманию сути фотосинтеза учёные шли несколько веков. Ещё в конце XVIII в. английский учёный Д. Пристли, исследуя свойства воздуха, обнаружил, что растения очищают воздух на свету (рис. 17).

Голландец Ян Ингенхауз, поставив серию опытов, доказал, что на свету растения выделяют кислород.

В 1782 г. швейцарец Сенебье установил, что для работы, которую растение проводит на свету, необходим, помимо воды, углекислый газ.

Русский учёный К. А. Тимирязев развил и экспериментально доказал мысль о том, что при участии пигмента хлорофилла один вид энергии (солнечная) превращается в другой — энергию химических связей, необходимую растению для образования органических веществ.

XX век ознаменовался тем, что благодаря трудам многих учёных из разных стран был изучен химизм фотосинтеза, исследовано влияние условий среды на интенсивность данного процесса.

Для фотосинтеза необходимы следующие условия:

- энергия солнечного излучения;
- вода и углекислый газ;
- специализированные органоиды, содержащие поглощающие свет пигменты, прежде всего хлорофилл.

Рис. 17. Опыты Дж. Пристли с мышью и веткой мяты

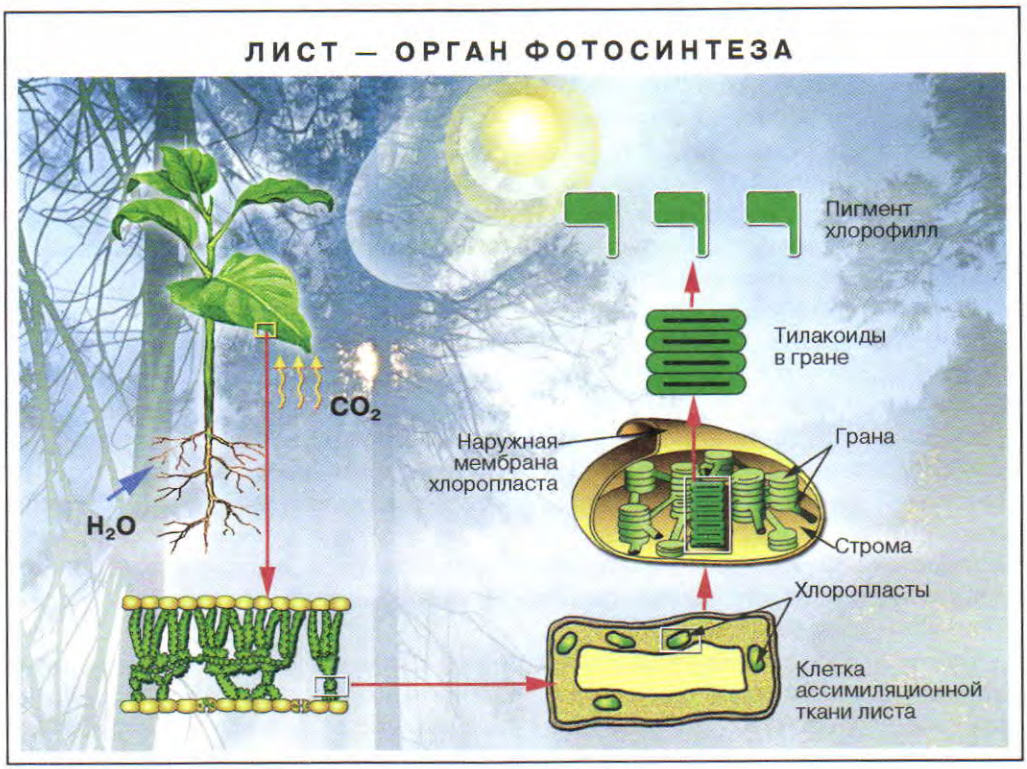


Рис. 18. Для осуществления фотосинтеза необходимы энергия Солнца, углекислый газ, вода и пигмент хлорофилл

Специализированными органоидами, осуществляющими фотосинтез в клетках растений, служат хлоропласты. Центральную область хлоропласта, окружённого двойной мембраной (рис. 18), называют ***стромой***, в которой внутренняя мембрана образует особые уплощённые пузырьки — ***тилакоиды***.

Тилакоиды собраны в ***граны***. В мембраны тилакоидов встроены молекулы пигментов и белков, участвующих в фотосинтезе.

Хлорофилл — фотосинтетический пигмент зелёного цвета, имеющий сложную химическую структуру. Роль хлорофилла, молекулы которого расположены в тилакоидах хлоропластов, заключается в поглощении солнечного света.

Солнечная энергия — необходимое условие для осуществления фотосинтеза. Хлорофилл поглощает главным образом красный и сине-фиолетовый цвета солнечного спектра. Зелёный цвет хлорофиллом отражается, и потому

растения имеют характерную зелёную окраску (если только её не маскируют другие пигменты). Энергия солнечных лучей воздействует на молекулу хлорофилла, что вызывает ряд химических реакций, в ходе которых синтезируется АТФ. В макроэргических связях АТФ запасается энергия, которая затем будет расходоваться на синтез углеводов.

Вода и углекислый газ — это те вещества, без которых процесс фотосинтеза не может осуществляться. Электроны молекул воды обеспечивают бесперебойную работу хлорофилла. Углекислый газ — «сырьё», из которого с использованием энергии АТФ синтезируются углеводы.

Этапы фотосинтеза. Фотосинтез — сложный многоступенчатый процесс, осуществляемый в два этапа. Первый этап возможен только при участии энергии солнечных лучей, т. е. на свету. Это световая фаза, которая протекает в тилакоидах хлоропласта.

Световая фаза начинается с того, что молекула хлорофилла поглощает квант солнечного света. Энергия Солнца передаётся электрону: он «возбуждается» — переходит на более высокий энергетический уровень. В таком состоянии молекула хлорофилла долго находиться не может: она должна отдать свой «возбуждённый» электрон соседней молекуле (акцептору электронов), а на его место принять новый электрон от какой-то другой молекулы (донора электронов).

Световая фаза осуществляется при участии целого комплекса молекул различных соединений: пигментов, белков. «Возбуждённый» электрон передаётся последовательно от молекулы к молекуле. В ходе этого процесса синтезируются молекулы АТФ и некоторые другие химические соединения — аккумуляторы энергии (рис. 19).

Нехватка электрона в молекуле хлорофилла восполняется за счёт электронов воды. Молекула воды под действием солнечного света расщепляется на протоны водорода, электроны и молекулярный кислород. Этот процесс носит название ***фотолиза воды***:

$$2H_2O \rightarrow 4H^+ + 4\bar{e} + O_2$$

Важнейший итог световой фазы — синтез богатых энергией соединений, в первую очередь АТФ. Молекулярный кислород, который является побочным продуктом одной из реакций фотосинтеза, выделяется во внешнюю среду.

Темновая фаза, сущность которой заключается в связывании CO_2 воздуха, может осуществляться как на свету, так и без участия света, поскольку в качестве источника энергии используется АТФ. Реакции темновой фазы начинаются со связывания молекулы углекислого газа с имеющимся в пластидах пятиуглеродным сахаром (акцептором CO_2). В результате образуется шестиуглеродное соединение, которое существует несколько мгно-

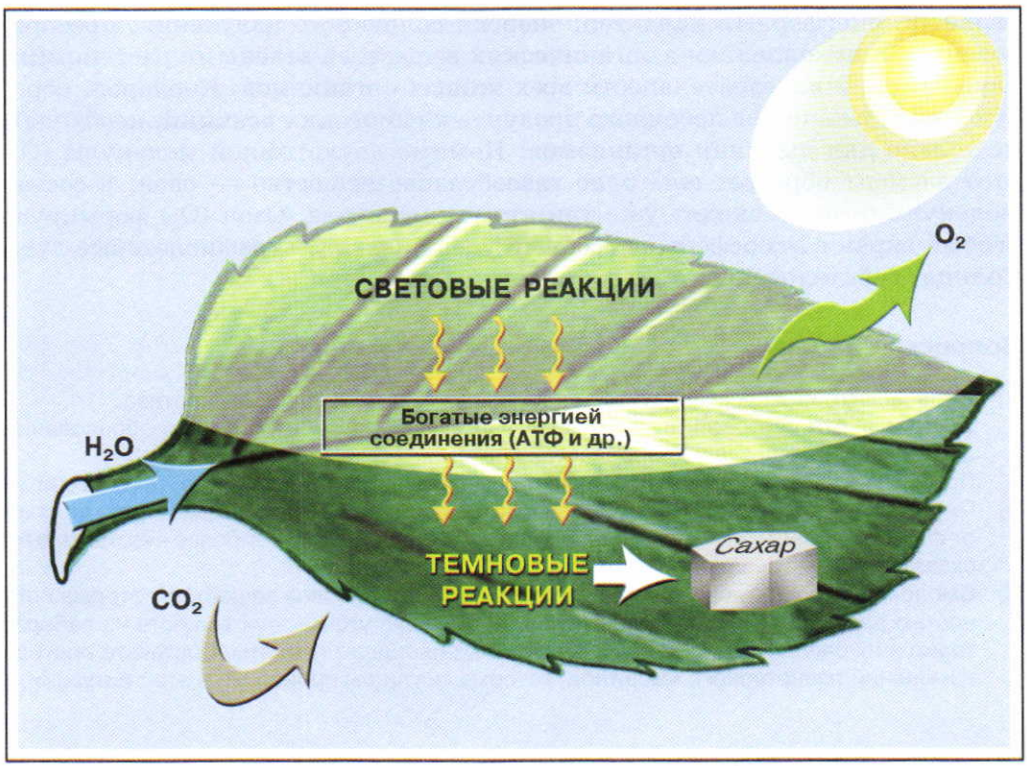


Рис. 19. Реакции фотосинтеза, протекающие в хлоропластах

вений, а затем распадается на две молекулы трёхуглеродной органической кислоты. Эти процессы начинаются в строме хлоропластов и продолжаются в цитоплазме, где образовавшиеся трёхуглеродные соединения после ряда последовательных реакций превращаются в сахара — глюкозу и фруктозу.

Из промежуточных продуктов фотосинтеза могут образовываться аминокислоты, жиры и липиды. Вместе с сахарами они служат источником энергии для роста и синтеза органических макромолекул.

Итоговое уравнение фотосинтеза в хлоропластах имеет следующий вид:

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

Биологическое значение фотосинтеза. Фотосинтез — осуществляемый живой клеткой процесс, открывший доступ к практически неисчерпаемой кладовой солнечной энергии. Значение фотосинтеза велико и носит гло-

бальный, биосферный характер: энергия солнечного излучения, преобразованная и накопленная в органических веществах зелёными растениями, служит для жизнедеятельности всех живых организмов. Кислород, образующийся в качестве побочного продукта химических реакций, необходим не только для дыхания организмов. Помимо двухатомной молекулы (O_2) этот элемент образует ещё одно газообразное вещество — озон, в состав молекул которого входят уже три атома кислорода. Озон (O_3) формирует особый экран в атмосфере, способный удерживать ультрафиолетовые лучи Солнца, губительные для всего живого на планете.

Вопросы и задания

1. Перечислите и охарактеризуйте условия, необходимые для фотосинтеза.
2. Докажите, что световой этап фотосинтеза играет решающую роль в образовании органических веществ в хлоропластах листа.
3. Почему второй этап фотосинтеза может осуществляться как в темноте, так и на свету?
4. Проследите зависимость процесса синтеза органических веществ растениями от факторов среды. Колебание каких факторов среды может наиболее чувствительно сказаться на интенсивности фотосинтеза?
5. Смоделируйте следующую ситуацию: человек синтезировал вещества, которые полностью разрушают пигмент хлорофилл. Произошла утечка этих веществ из лаборатории и их распространение на значительных площадях планеты. Составьте прогноз изменений планетарного масштаба, которые могли бы произойти в этой ситуации.

§ 12. Обеспечение клетки энергией

Какое вещество служит аккумулятором энергии в клетке?

Органические вещества — источники энергии клетки. Энергетический обмен — это совокупность реакций, в результате которых осуществляется ферментативный распад молекул органических веществ, синтезированных в клетке или поступивших в неё. Энергия, выделяющаяся при разрушении химических связей этих веществ, запасается в макроэргических связях молекул АТФ.

В качестве основного энергетического материала животная клетка использует прежде всего углеводы и жиры. Белки — очень ценные вещества для клетки, они редко используются в качестве источника энергии. Причиной этому служит то, что мономеры белков (аминокислоты) являются строительным материалом новых полипептидов. Кроме того, ряд аминокислот, относящихся к группе незаменимых, не могут синтезироваться животной клеткой.

Для любознательных

Французский химик А. Лавуазье ещё в XVIII в. осуществил серию экспериментов, на основе которых сделал вывод, что процесс горения осуществляется в присутствии кислорода воздуха. При горении кислород соединяется с углеродом топлива и образуется углекислый газ. Лавуазье предположил, что в организме животных и человека съеденная пища окисляется, в результате чего происходит выделение тепла и энергии вообще. Экспериментально Лавуазье установил, что после еды или во время физической работы человек потребляет кислорода больше, чем в голодном состоянии. Учёный сделал блестящий вывод: кислород необходим для окисления пищи и восстановления затраченной энергии.

Однако механизм образования энергии в клетке смогли раскрыть лишь много позднее, в середине XX в., усилиями исследователей разных стран, в том числе русского биохимика В. А. Энгельгардта.

Сложный углевод гликоген и жиры — резервы «топлива» в клетке. Они расходуются клетками после некоторого периода голодания организма. Например, утром после сна идёт активное использование жиров, которые вначале распадаются на глицерин и жирные кислоты.

После еды главным источником энергии в клетках служит глюкоза, полученная организмом с пищей. Источником глюкозы является также резервный полисахарид гликоген.

Этапы энергетического обмена. Рассмотрим, как осуществляется процесс преобразования энергии органических соединений в энергию АТФ. Молекулы АТФ синтезируются в ходе реакций расщепления органических веществ до неорганических (рис. 20).

Энергетический обмен в клетке происходит в несколько этапов.

Первый этап — *подготовительный*. Он характеризуется тем, что сложные органические вещества в организме животного расщепляются на мономеры. Так, в желудочно-кишечном тракте животных крахмал, полученный с пищей, распадается до глюкозы, жиры — до глицерина и жирных кислот, белки — до аминокислот. Образовавшиеся малые органические молекулы поступают в клетки тканей. Энергия, которая выделяется на первом этапе, рассеивается в виде тепла.

Рассмотрим дальнейшее расщепление органических веществ на примере глюкозы.

Второй этап энергетического обмена протекает в цитоплазме клеток и назван *бескислородным* этапом, так как осуществляется без участия кислорода. Другое его название — ***гликолиз*** (от греч. *glykys* — сладкий, *lysis* — растворение) — сложный процесс расщепления глюкозы, проходящий при активном участии ферментов.

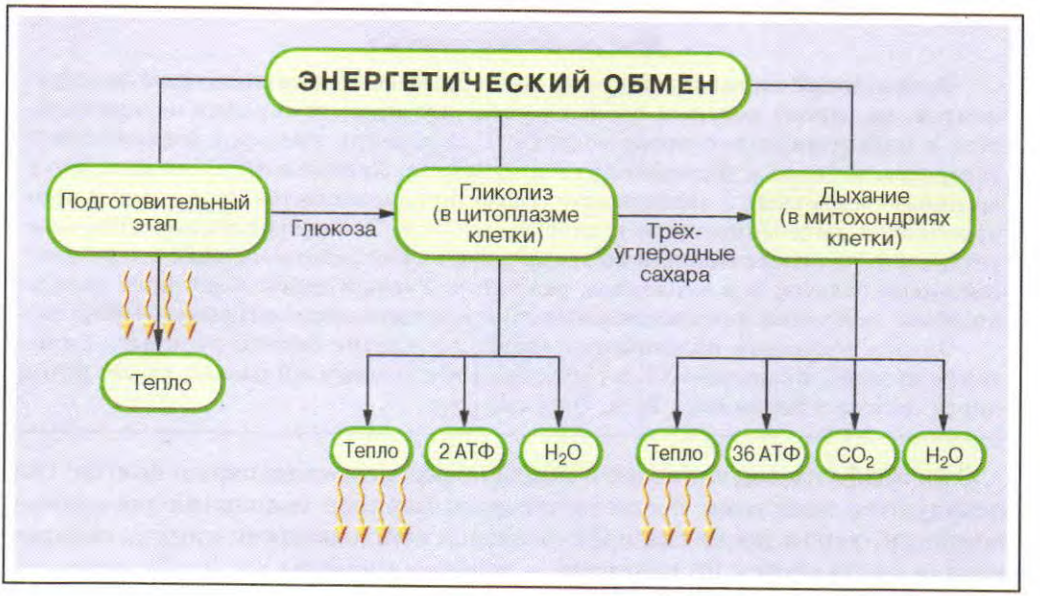


Рис. 20. Этапы энергетического обмена

В процессе гликолиза из одной молекулы глюкозы образуются две молекулы трёхуглеродного соединения — ***пировиноградной кислоты*** (её химическая формула $C_3H_4O_3$) и две молекулы АТФ.

Далее, если в клетке кислорода недостаточно, то свободная пировиноградная кислота превращается в другую органическую кислоту — молочную. При интенсивной физической работе человека клетки мышечной ткани испытывают недостаток кислорода, в этом случае происходит неполное расщепление глюкозы. В мышечной ткани накапливается избыток молочной кислоты. Это приводит к ощущению усталости, болям в мышцах, появлению одышки — признака кислородной недостаточности организма.

Третий этап энергетического обмена — *кислородный*, протекающий при непосредственном участии кислорода. На этом этапе трёхуглеродная пировиноградная кислота окисляется молекулярным кислородом (O_2) до углекислого газа (CO_2) и воды (H_2O). Энергия, высвобождаемая при таком окислении, используется очень эффективно. На каждую молекулу окисляемой глюкозы образуются 36 молекул АТФ. Этот этап ещё называют ***клеточным дыханием***. Осуществляется клеточное дыхание в «энергетических станциях» клетки — митохондриях, на кристах которых расположены ферменты, активирующие реакции окисления органических веществ.

Таким образом, в результате расщепления одной молекулы глюкозы в клетке образуются 38 молекул АТФ (2 молекулы при гликолизе + 36 молекул во время кислородного этапа). Эта энергия затем расходуется на синтез веществ. Энергия макроэргических связей АТФ может превращаться в другие виды энергии: в электрическую (проведение нервных импульсов), механическую (движение жгутиков у простейших, мышечные сокращения у других животных).

Клеточное дыхание у растений. В отличие от животных растения преобразуют в АТФ энергию солнечного света. Но процесс фотосинтеза идёт только в светлое время суток, а дыхание осуществляется круглые сутки. Ночью растения получают АТФ в результате деятельности митохондрий, которые у них очень сходны с митохондриями животных клеток. Источником энергии в этом случае служат сахара, произведённые в процессе фотосинтеза.

При выращивании культурных растений в теплицах и парниках нужно помнить, что процесс окисления глюкозы до углекислого газа и воды (клеточное дыхание) при высокой температуре воздуха протекает очень интенсивно. Кроме того, фотосинтез осуществляют лишь зелёные клетки листа и стебля, а дыхание происходит во всех клетках растения. В плохо проветриваемых теплицах летом температура воздуха поднимается выше 35—40 °С, в результате чего интенсивность дыхания может возрасти в 100 раз и более, а фотосинтез изменится слабо. Поэтому увеличение органической массы будет незначительным и урожай от таких растений окажется невысоким. Вот почему в тепличных хозяйствах особое внимание уделяется вентиляции помещений.

Вопросы и задания

1. Назовите вещества, которые являются основными источниками энергии в клетке.
2. Охарактеризуйте каждый из этапов энергетического обмена по трём позициям: 1 — место осуществления в организме; 2 — вещества, вступающие в реакции, и превращение этих веществ; 3 — энергетический эффект.
3. В каком случае в организме человека гликолиз будет преобладать над кислородным этапом энергетического обмена? У каких организмов отсутствует кислородный этап энергетического обмена?
4. Общеизвестно, что спортсмены во время тренировок большое внимание уделяют правильному дыханию. Используя знания об энергетическом обмене, дайте объяснение этому непременному условию хорошей физической формы спортсменов.
5. Сравните фотосинтез и клеточное дыхание. Укажите черты сходства и различия между этими процессами в отношении исходных веществ, конечных продуктов и потока энергии.

§ 13. Синтез рибонуклеиновой кислоты (РНК) и белка

Как образуются белки, необходимые клетке и организму?

Условия, необходимые для синтеза белка. Для каждой клетки (будь это самостоятельный организм или клетка многоклеточного организма) характерен свой собственный набор белков. Эти белки выполняют множество функций.

Синтез белка представляет собой сложный, многоступенчатый процесс образования белковой молекулы (полипептида) из аминокислот.

Для синтеза белка необходимы:

- строительный материал — аминокислоты;
- информация о порядке расположения аминокислот в полипептидной цепи;
- молекулы — переносчики аминокислот;
- органоид клетки, в котором осуществляется сборка белковой молекулы;
- энергия.

Образованию белка в клетке предшествует синтез молекул РНК, без которых невозможна сборка полипептидной цепи.

Матричная РНК. Генетический код. Информация о последовательности аминокислот в полипептидной цепи записана в молекуле ДНК (рис. 21).

Какое строение имеет нуклеотид?

Из предыдущих тем учебника (см. § 5) вы знаете, что ДНК состоит из четырёх типов нуклеотидов, которые отличаются друг от друга лишь азотистыми основаниями. Схематично структуру одной из цепей ДНК можно изобразить как последовательность нуклеотидов: А Г Г Ц Г Т А Т Г...

Сама ДНК в синтезе белка непосредственно не участвует. Она находится в ядре клетки, тогда как сборка полипептида идёт в цитоплазме. Но ДНК содержит информацию о том, каким должен быть белок. Эта информация считывается и передаётся посредством матричных РНК (мРНК).

Подготовка к синтезу белка начинается с копирования информации ДНК на мРНК. Под действием фермента молекула ДНК на одном из участков теряет структуру двойной спирали, связи между азотистыми основаниями разрываются, спираль раскручивается. Одна из двух разделённых цепей ДНК служит матрицей для образования водородных связей между азотистыми основаниями ДНК и азотистыми основаниями поступающих нуклеотидов мРНК — *рибонуклеотидов*. Сборка рибонуклеотидов в цепь происходит с соблюдением их комплементарности нуклеотидам ДНК.

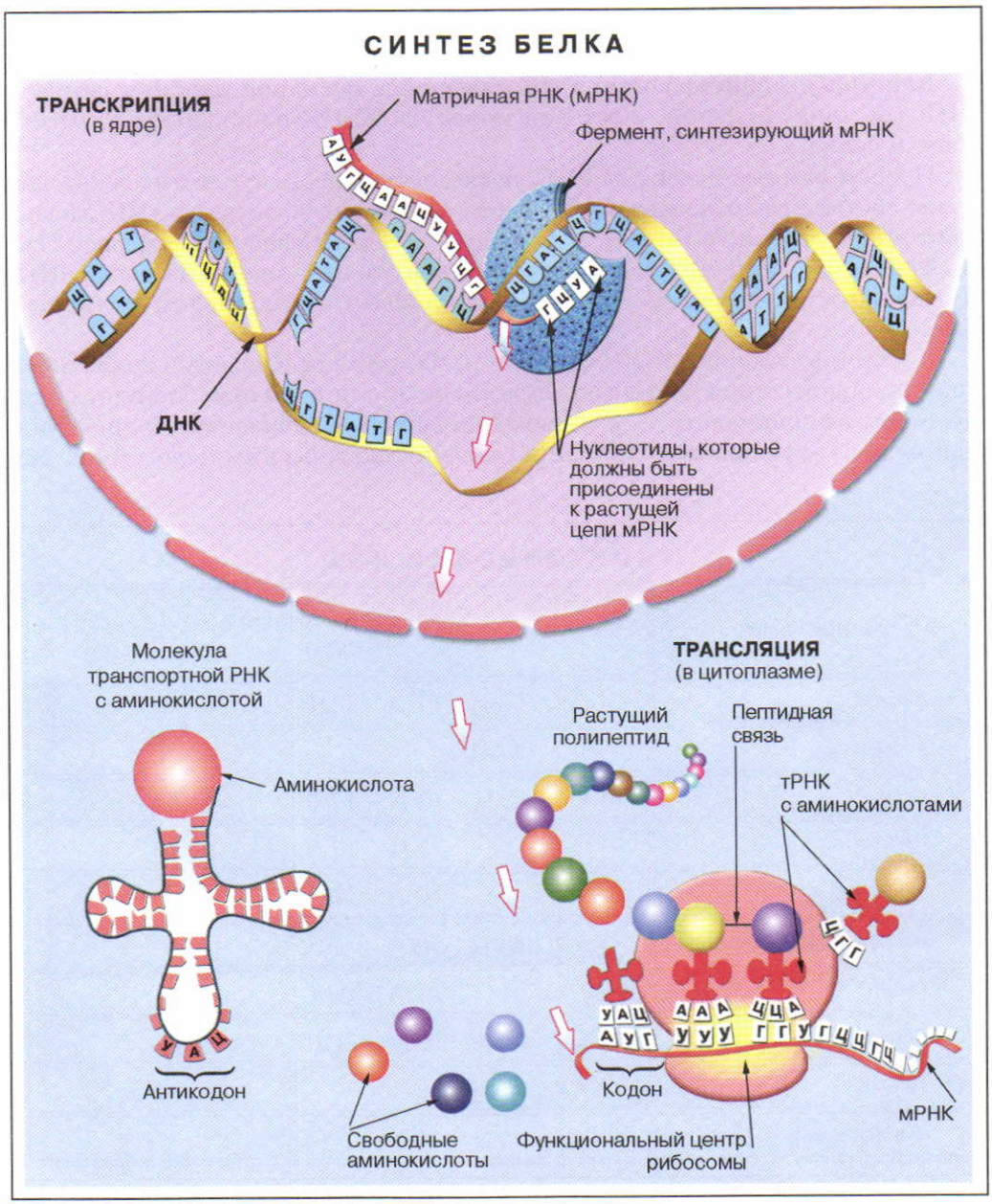


Рис. 21. Этапы синтеза белка

Вспомните, какие азотистые основания называют комплементарными.

Как только синтез копии РНК завершён, исходная двойная спираль ДНК восстанавливается, а готовая молекула мРНК направляется к месту сборки белка.

Процесс синтеза молекулы РНК, последовательность нуклеотидов которой точно соответствует последовательности нуклеотидов матрицы ДНК, называют ***транскрипцией*** (от лат. *transcriptio* — переписывание) (см. рис. 21).

Таким образом, мРНК является копией участка одной из цепей ДНК и содержит информацию о последовательности аминокислот в будущем белке.

Участок матричной РНК, состоящий из трёх последовательно расположенных нуклеотидов, называют ***триплетом*** или ***кодоном***. Триплет кодирует одну аминокислоту, т. е. определяет её местоположение в полипептидной цепи. Такую систему записи называют генетическим кодом (рис. 22).

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД

Аминокислота	Кодирующие триплеты (кодоны)
Аланин	ГЦУ ГЦЦ ГЦА ГЦГ
Аспарагин	ААУ ААЦ
Валин	ГУУ ГУЦ ГУА ГУГ
Глицин	ГГУ ГГЦ ГГА ГГГ
Глутамин	ЦАА ЦАГ
Изолейцин	АУУ АУЦ АУА
Лизин	ААА ААГ
Пролин	ЦЦУ ЦЦЦ ЦЦА ЦЦГ
Тирозин	УАУ УАЦ
Фенилаланин	УУУ УУЦ

Рис. 22. Некоторые аминокислоты и кодирующие их триплеты мРНК

Генетический код — система записи информации о первичной структуре белка, представленная определённым сочетанием нуклеотидов и последовательностью их расположения в молекулах ДНК и мРНК. Например, триплет ГЦЦ кодирует аминокислоту аланин, ГГЦ — глицин и т. д.

Существуют 64 типа триплетов. Три триплета из 64 не кодируют никаких аминокислот, а определяют прекращение синтеза полипептидной цепи. Поэтому их называют ***стоп-кодонами***. Готовая мРНК направляется в цитоплазму клетки к рибосомам.

Транспортная РНК. Строительным материалом для белка являются аминокислоты, которые находятся в цитоплазме клетки. Каждую аминокислоту необходимо доставить в то место, которое она должна занять в молекуле белка. Функцию доставки выполняют молекулы транспортной РНК (тРНК).

Каждая тРНК может переносить только одну из 20 аминокислот, используемых в синтезе белка. Транспортные РНК узнают «свои» аминокислоты, присоединяют их к свободному концу молекулы. Это происходит при участии соответствующего фермента и энергии АТФ. Затем тРНК вместе с аминокислотой направляется к рибосоме.

Синтез белка. Рибосомы, состоящие из рибосомальных РНК (рРНК) и белков, представляют собой целый биохимический комплекс, где осуществляется сборка белковой молекулы.

Синтез белка начинается с объединения, с одной стороны, рибосомы и мРНК, с другой — тРНК с аминокислотами (см. рис. 21).

Рибосома имеет *функциональный центр*, где могут одновременно находиться лишь два триплета матричной РНК. Именно в нём и осуществляется трансляция (от лат. *translatio* — передача) информации, записанной на матричной РНК, на «язык» аминокислот, в результате которой происходит наращивание белковой молекулы.

Транспортные РНК последовательно присоединяются по принципу комплементарности к «своим» триплетам матричной РНК. Положение каждой тРНК определяется с помощью ***антикодона*** — триплета, расположенного на переднем участке молекулы (см. рис. 21). Аминокислоты соединяются пептидными связями в том порядке, который записан на матрице синтеза — матричной РНК. Полипептидная цепочка увеличивается по мере продвижения мРНК через рибосому.

Когда в рибосому попадает стоп-кодон мРНК, сборка полипептидной цепи заканчивается. В дальнейшем белок приобретает необходимую структуру: спирализуется или скручивается в глобулу и направляется в нужный отсек клетки для выполнения своих функций. В частности, ферменты катализируют синтез других органических веществ в клетке.

Вопросы и задания

1. Перечислите условия, необходимые для синтеза белка.
2. Раскройте роль мРНК в процессе синтеза белка.
3. Докажите, что в основе процесса транскрипции лежит реакция матричного синтеза, а именно принцип комплементарности азотистых оснований.
4. Объясните значения терминов «генетический код», «триплет», «антикодон».
5. Охарактеризуйте роль тРНК в процессе синтеза белка.
6. Используя информацию, которую содержит рис. 21, сравните процессы транскрипции и трансляции, определите черты их сходства и различия.
7. Предположите, какие возможности откроет перед человеком овладение механизмом реализации информации, заключённой в ДНК.

§ 14. Клеточный цикл

Как происходит размножение клеток?

Жизненный цикл клетки. Жизнь клетки с момента её появления до деления или гибели принято называть ***жизненным циклом клетки*** или ***клеточным циклом***.

Клетка растёт, развивается, выполняет определённые функции (в многоклеточном организме) или функционирует как отдельный организм (бактерии, простейшие, одноклеточные водоросли). В течение всей жизни в клетке непрерывно осуществляется обмен веществ.

Ещё в 1855 г. немецкий врач Р. Вирхов показал, что все клетки образуются из других клеток путём деления: «Omnis cellula ex cellula», т. е. «Каждая клетка происходит из клетки».

Для любознательных

У простейших, одноклеточных водорослей и бактерий, размножение осуществляется путём деления клетки надвое. Благодаря постоянному клеточному делению многоклеточные организмы восполняют потери клеток после их «износа». У взрослого человека каждую секунду должно образовываться несколько миллионов клеток. Если все клеточные деления прекратятся, как, например, в случае массированного облучения, человек погибнет. Однако клетки некоторых тканей человеческого организма утратили способность к делению. Это нейроны, зрелые эритроциты.

Клеточный цикл условно делят на два периода: длительный — *интерфазу* и сравнительно короткий — деление.

Интерфаза (от лат. *inter* — между и от греч. *phasis* — появление) — часть клеточного цикла между двумя делениями. У клеток, утративших способность делиться, интерфазой считают период от последнего деления и до их гибели.

В период интерфазы клетка активно функционирует, в ней интенсивно идут обменные процессы, в том числе осуществляется подготовка к делению.

Деление у подавляющего большинства эукариотических клеток состоит из ***митоза*** (от греч. *mitos* — нить) — деления ядра клетки — и разделения цитоплазмы. Основные изменения, связанные с процессом клеточного деления, осуществляются с участием ядерных структур. Активную роль в этом сложном процессе играет клеточный центр, в состав которого входят две *центриоли*, имеющие форму полых цилиндров, состоящих из микротрубочек.

Генетический материал эукариотической клетки. Из ранее изученных глав учебника вам известно, что информация о всех белках, необходимых клетке, находится в ДНК. А так как без белков не обходится ни одна химическая реакция, можно сказать, что в ДНК заключена информация о характере и последовательности всех жизненно важных процессов клетки. Эту информацию материнская клетка должна передать по наследству.

Все наследственные свойства живой системы называют ***генетическим материалом***. В эукариотической клетке генетический материал представлен хромосомами (рис. 23).

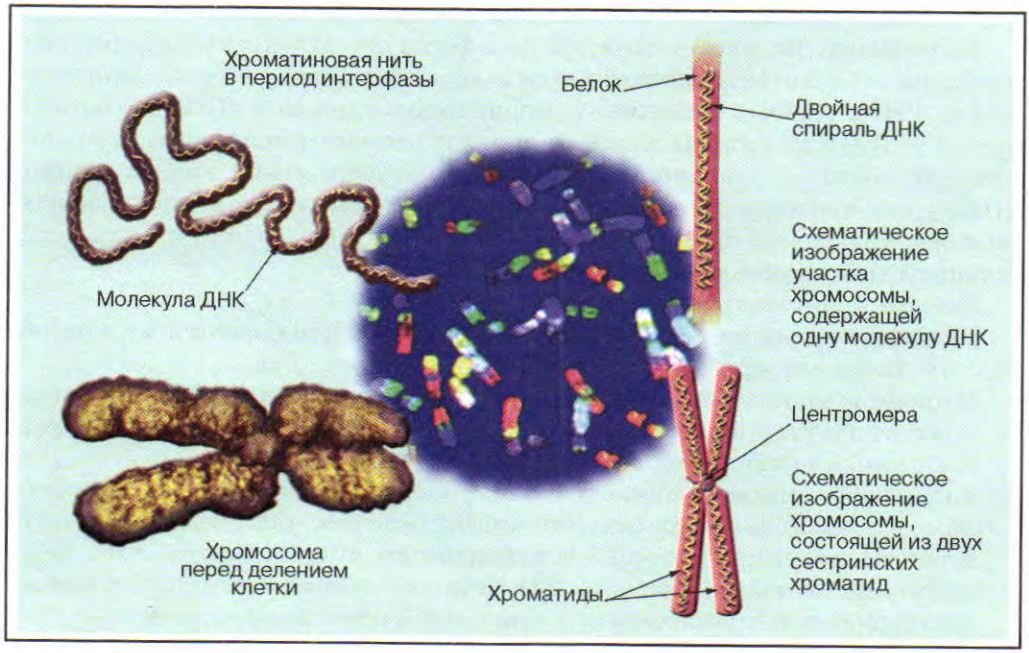


Рис. 23. Генетический материал эукариотической клетки

Вспомните, что представляет собой хроматин. Когда хроматин приобретает вид хромосом?

Соматические (неполовые) клетки многоклеточного организма в норме содержат определённое число хромосом. Полный хромосомный набор соматической клетки называют ***диплоидным*** (двойным) и обозначают формулой $2n$. Например, диплоидный набор хромосом человека — 46, таракана — 48, собаки — 78.

В отличие от соматических, половые клетки (гаметы) всегда содержат половинный набор хромосом — ***гаплоидный*** (одинарный), обозначаемый символом n («эн»), т. е. n — число хромосом в гаплоидном наборе.

Каждая хромосома содержит лишь одну молекулу ДНК. Число молекул ДНК в гаплоидном наборе можно обозначить символом c («це»). Тогда генетический материал соматической клетки будет иметь формулу $2n2c$.

Каким же образом происходит передача клеткой по наследству всех своих признаков? В основе этого процесса лежит способность молекулы ДНК к самовоспроизведению, в результате чего генетический материал материнской клетки удваивается, а затем равномерно распределяется между дочерними клетками.

Важным периодом клеточного цикла служит интерфаза.

Интерфаза. Во время интерфазы клетка не только выполняет свои функции, но и интенсивно готовится к делению: образуются необходимые белки, РНК, АТФ, а главное — происходит удвоение ДНК в хромосомах. В результате каждая хромосома оказывается состоящей из двух продольных копий — ***хроматид***, каждая из которых имеет особый участок ДНК — ***центромеру***. Центромера определяет правильность последующего расхождения хроматид (см. рис. 23). Генетический материал клетки перед делением можно обозначить $\mathbf{2n4c}$.

Как же происходит образование новых клеток?

Деление клетки начинается с митоза. Митоз складывается из четырёх фаз: профазы, метафазы, анафазы и телофазы (рис. 24).

- В ***профазе*** хромосомы, состоящие из двух сестринских хроматид, спирализуются и утолщаются. В таком виде они хорошо видны в микроскоп. Клеточный центр, расположенный сбоку от ядра, активизируется и начинает образовывать микротрубочки, состоящие из белков. Возникают *полюсы деления*, от них отходят микротрубочки, так называемые нити веретена деления, которые в дальнейшем будут обеспечивать передвижение хроматид (см. рис. 24). В конце профазы ядерная оболочка растворяется и хромосомы оказываются в цитоплазме клетки.
- В ***метафазе*** к центромерам каждой из хроматид прикрепляются микротрубочки. Хромосомы выстраиваются в области экватора клетки. Дви-

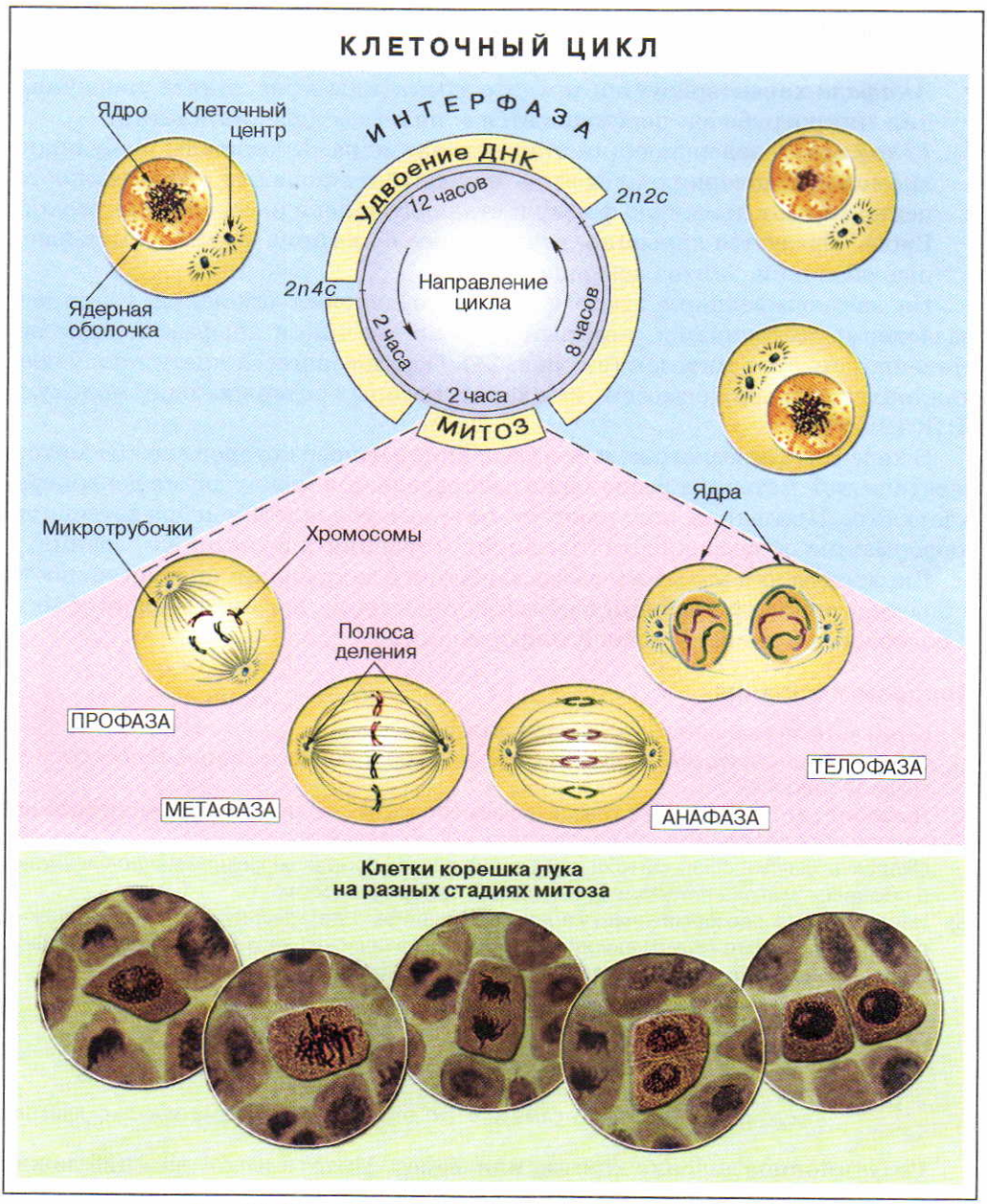


Рис. 24. Клеточный цикл животной клетки (вверху); митоз растительной клетки (внизу)

жение белков микротрубочек приводит к разделению хроматид каждой хромосомы и к постепенному их «растаскиванию» к полюсам деления.

- ***Анафаза*** характеризуется тем, что хроматиды в результате укорачивания микротрубочек перемещаются к полюсам деления клетки.
- ***Телофаза*** — завершающий этап деления ядра. Хроматиды — будущие хромосомы дочерних клеток — находятся у полюсов деления, постепенно теряют прежнюю форму и становятся невидимыми в микроскоп. Вновь образуется ядрышко, исчезнувшее в профазу, формируются ядерные оболочки. Митоз завершается.

На заключительном этапе клеточного деления происходит процесс разделения цитоплазмы, который начинается ещё в анафазе и идёт постепенно, вместе с митозом (см. рис. 24). Образовавшиеся клетки получают диплоидный набор хромосом, каждая из которых содержит одну молекулу ДНК ($2n2c$).

В ходе митотического деления (деления, в основе которого лежит митоз) генетический материал равномерно распределяется между двумя дочерними клетками. Последние получают от материнской клетки наследственную информацию об особенностях развития, строения и функционирования.

Биологическая роль митоза заключается в сохранении преемственности в ряду клеточных поколений и образовании клеток, равноценных по объёму и содержанию наследственной информации.

Вопросы и задания

1. Объясните значение термина «клеточный цикл».
2. Сравните генетический материал соматической и половой клеток. В чём состоит главное отличие?
3. Докажите, что изменения в генетическом аппарате клетки в период интерфазы являются определяющими для последующего нормального деления.
4. Охарактеризуйте фазы митоза и объясните, каким образом каждая дочерняя клетка в процессе митоза получает диплоидный набор хромосом.
5. Известно, что все соматические клетки организма делятся путём митоза. Можно ли утверждать, что генетический материал соматических клеток будет одинаковым, несмотря на различие их строения и функций? Ответ аргументируйте.

§ 15. Мейоз

Какую роль выполняют гаметы? Что отличает их от соматических клеток?

Редукционное деление клетки, или мейоз. Митотическое деление лежит в основе формирования соматических клеток, набор генетического материала которых выражен формулой $2n2c$. Возникает закономерный вопрос: как

образуются гаметы с одинарным, гаплоидным, набором хромосом? Чтобы ответить на него, рассмотрим ещё один тип деления клеток — мейоз.

Мейоз (от греч. *meiōsis* — уменьшение) — редукционное деление клетки, при котором происходит уменьшение в 2 раза (редукция) числа хромосом. Мейоз состоит из двух последовательных делений. В результате из одной диплоидной клетки ($2n2c$) образуются четыре гаплоидные, содержащие по одинарному набору хромосом (nc). Как и в митозе, в каждом мейотическом делении выделяют четыре этапа: профазу, метафазу, анафазу и телофазу.

Первое деление мейоза. Мейоз протекает несколько иначе, нежели митотическое деление клетки.

Какие изменения происходят в клетке перед её делением?

Перед первым делением мейоза происходит удвоение генетического материала в клетке. В результате самоудвоения молекул ДНК хромосомы оказываются состоящими из двух хроматид. Генетический материал такой клетки можно обозначить $2n4c$.

В диплоидном наборе соматической клетки хромосомы, одинаковые по форме, величине и строению, легко разделить на пары. Например, в соматических клетках человека 23 пары хромосом.

Хромосомы, сходные по форме и содержащие одинаковый набор генов, называют ***парными*** или ***гомологичными*** (от греч. *homos* — равный, одинаковый, общий).

В ходе первого деления происходит ряд важных явлений. В отличие от митоза в результате первого деления мейоза к полюсам должны разойтись не сестринские хроматиды, а целые хромосомы, по одной из каждой пары. Для дальнейшего правильного расхождения эти пары вначале должны образоваться: гомологичным хромосомам необходимо «узнать» друг друга, правильно выстроиться в экваториальной плоскости клетки и затем разойтись к полюсам. Поэтому в профазу первого деления (профаза I) гомологичные хромосомы сближаются, а затем соединяются по всей длине. Этот процесс называют ***конъюгацией*** (рис. 25).

Очень часто между конъюгирующими хромосомами осуществляется обмен участками, содержащими одни и те же гены. В хромосомах образуются новые сочетания генов, так называемые ***рекомбинации*** (от лат. *re* — возобновление, *combinatio* — соединение).

В метафазе I конъюгирующие хромосомы располагаются в экваториальной плоскости. Нити веретена прикрепляются к центромерам гомологичных хромосом, и последние постепенно расходятся к полюсам клетки (анафаза I). Многие из разошедшихся к полюсам хромосом уже отличаются от первоначальных новыми сочетаниями генов. В телофазе I формируются два ядра.

Рис. 25. Схема мейоза

Завершается первое деление мейоза разделением цитоплазмы. Из диплоидной клетки образуются две гаплоидные, однако каждая хромосома гаплоидного набора по-прежнему состоит из двух хроматид. Генетический материал такой клетки можно обозначить формулой *n2c*.

Второе деление мейоза. Второе деление каждой из клеток следует сразу за первым. Удвоения ДНК перед вторым делением мейоза не происходит, поэтому в ходе деления к полюсам расходятся уже не хромосомы, а отдельные хроматиды. В результате второго деления каждая клетка даёт начало ещё двум гаплоидным клеткам, их хромосомы содержат по одной молекуле ДНК *(nc)*.

Таким образом, в ходе редукционного деления из одной диплоидной образуются четыре гаплоидные клетки.

Весь процесс мейоза схематично представлен на рис. 25.

Значение мейоза. Биологическое значение мейоза состоит в сохранении хромосомного набора у разных поколений организмов, размножающихся половым путём. Мейоз лежит в основе формирования гамет, а также спор у высших растений. Гаплоидные гаметы при оплодотворении сливаются, диплоидный набор хромосом восстанавливается.

Обмен участками гомологичных хромосом и их равновероятное расхождение к полюсам в ходе первого деления мейоза обеспечивают появление новых комбинаций генов в гаметах (спорах).

Вопросы и задания

1. Объясните, почему мейоз называют редукционным делением.
2. Используя термины «конъюгация» и «рекомбинация», охарактеризуйте изменения, которые происходят с гомологичными хромосомами во время первого деления мейоза.
3. Используя информацию, которую содержат рис. 24 и 25, сравните митоз и мейоз, выявите черты сходства и отличия этих процессов. Ответ оформите в виде таблицы.

Черты сходства	Черты отличия	
	Митоз	Мейоз

4. Спрогнозируйте возможные изменения в природе в случае исчезновения мейоза как одного из возможных типов деления клеток.

ОРГАНИЗМ — ЦЕЛОСТНАЯ СИСТЕМА

Часто в разговорной речи по отношению к различным представителям живой природы употребляется словосочетание «живые существа». В биологии используют другие термины: «организмы», «особи», «индивидуумы». Существами можно называть животных, но не растения и не грибы.

Организм (особь, индивидуум) — неделимая единица жизни, целостная система, состоящая из взаимосвязанных и соподчинённых компонентов. Каждый компонент (у одноклеточных организмов это органоиды, ядро, цитоплазма, у многоклеточных — клетки, ткани, органы и системы органов) имеет особое строение и выполняет специфические функции.

Многоклеточные особи несоизмеримо сложнее одноклеточных. Однако и одноклеточный и многоклеточный организмы выступают как единое целое: согласованная работа всех компонентов биосистемы направлена на поддержание обмена веществ и энергии со средой, что обеспечивает рост, развитие, размножение организма. Важнейшая черта, характеризующая особь, — процесс индивидуального развития, охватывающий все его изменения — от оплодотворения до окончания жизни.

В течение длительного времени большинство исследований организмов сводилось к изучению отдельных его частей. Особое значение придавалось строению и функционированию органов и систем органов. И только во второй половине XIX в. начались

исследования организма как сложной системы, состоящей из взаимодействующих компонентов — органов, тканей, клеток. Изучение целостного организма связано с именем английского учёного Чарлза Дарвина, который в своём научном труде «Происхождение видов» раскрыл подвижный характер организации живого, показал взаимодействие органов в организме, его зависимость от внешних условий.

Русские учёные И. М. Сеченов и И. П. Павлов исследовали условный рефлекс и раскрыли роль нервной системы, прежде всего её высшего отдела — коры больших полушарий головного мозга, в регуляции работы органов и тканей и обеспечении целостности организма. Впоследствии многочисленные работы учёных в разных областях биологии подтвердили идеи о том, что целостный организм проявляет свойства, не сводимые к сумме свойств его составляющих.

§ 16. Вирусы — неклеточная форма жизни

Каковы особенности жизнедеятельности вирусов?

Открытие вирусов. ***Вирусы*** (от лат. *virus* — яд) — живые частицы, которые не имеют клеточного строения. Это особые неделимые единицы жизни. Однако многие учёные сомневаются, можно ли относить вирусы к живым организмам. Что же удивительного и необычного в их строении и жизнедеятельности?

Величина вирусов составляет от 2 до 300 нм, т. е. они в 150 раз мельче бактерий. В 1892 г. наш соотечественник Д. И. Ивановский впервые обратил внимание на неизвестных науке возбудителей заболеваний.

Для любознательных

Д. И. Ивановский, работая в Крыму, обнаружил, что мозаичную болезнь табака вызывают неизвестные мельчайшие паразиты. Пропустив сок из листьев заражённого растения через специальные фильтры, задерживающие бактерии, учёный убедился, что сок не потерял своих инфекционных свойств. Здоровые растения табака, которым вводили этот сок, приобретали на листьях типичный рисунок в виде мозаики. Это означало, что возбудители заболевания значительно мельче бактерий, они свободно проходили через поры фильтра.

В 1898 г. голландский учёный Бейеринк предложил название профильтрованной растительной жидкости инфекционной природы — вирус.

Отечественного учёного Д. И. Ивановского считают основоположником ***вирусологии*** — науки о вирусах.

Дмитрий Иосифович Ивановский
(1864—1920)

Обнаружить вирусы в световой микроскоп не удавалось по причине их ничтожно малых размеров. Поэтому они оказались в числе первых структур, которые были исследованы под электронным микроскопом. Возбудителем болезни табака оказался вирус табачной мозаики (рис. 26).

Строение вирусов. Вирусы как неклеточная форма жизни имеют простое строение. Наиболее простые из вирусов состоят из двух биологических полимеров — нуклеиновой кислоты и белка (см. рис. 26). Нуклеиновая кислота — генетический материал, который представлен всеми возможными формами нуклеиновых кислот: однонитчатой и двухнитчатой ДНК, однонитчатой и двухнитчатой РНК. Такого разнообразия не знают одноклеточные и многоклеточные организмы, генетический аппарат которых всегда состоит из двухнитчатой ДНК (двойной спирали), а их РНК всегда однонитчатая.

Нуклеиновые кислоты, составляющие центральную часть вируса, покрыты белковой оболочкой, выполняющей защитную функцию и состоящей из множества повторяющихся одинаковых элементов. Из них образуются симметричные структуры, способные кристаллизоваться. Белковые оболочки некоторых вирусов напоминают правильные кристаллы.

Более сложно устроенные вирусы помимо нуклеиновых кислот и белка содержат липиды, углеводы и некоторые ферменты.

Жизнедеятельность вирусов. Исследование вирусов показало, что они не способны расти на искусственных питательных средах, как, например, бактерии и грибы. Оказалось, что единственно возможная среда обитания вирусов — это живая клетка, в которой проходят все активные процессы их жизнедеятельности. Вирусы паразитируют в живых клетках.

Вирусы — паразиты животных, растений, грибов, бактерий. Проникновение в клетку-хозяина может быть различным. В животную клетку вирусы часто проникают путём пиноцитоза, а в клетку растений — через повреждение в клеточной стенке. У вирусов, паразитирующих в бактериях, — ***бактериофагов*** (см. рис. 26), или просто ***фагов*** («пожирателей»), — в бактериальную клетку проникает нуклеиновая кислота без белковой оболочки. Внутри клетки бактерии фаги подавляют, «выклю-

чают» хозяйскую ДНК и, используя свой собственный генетический аппарат (ДНК или РНК), «дают клетке команду» синтезировать новые копии вируса. Вначале происходит многократное удвоение нуклеиновой кислоты вируса, а затем на основе генетической информации паразита происходит синтез белков, составляющих белковую оболочку. Клетка-хозяин погибает, а высвобождающиеся паразиты-вирусы инфицируют новые клетки (см. рис. 26).

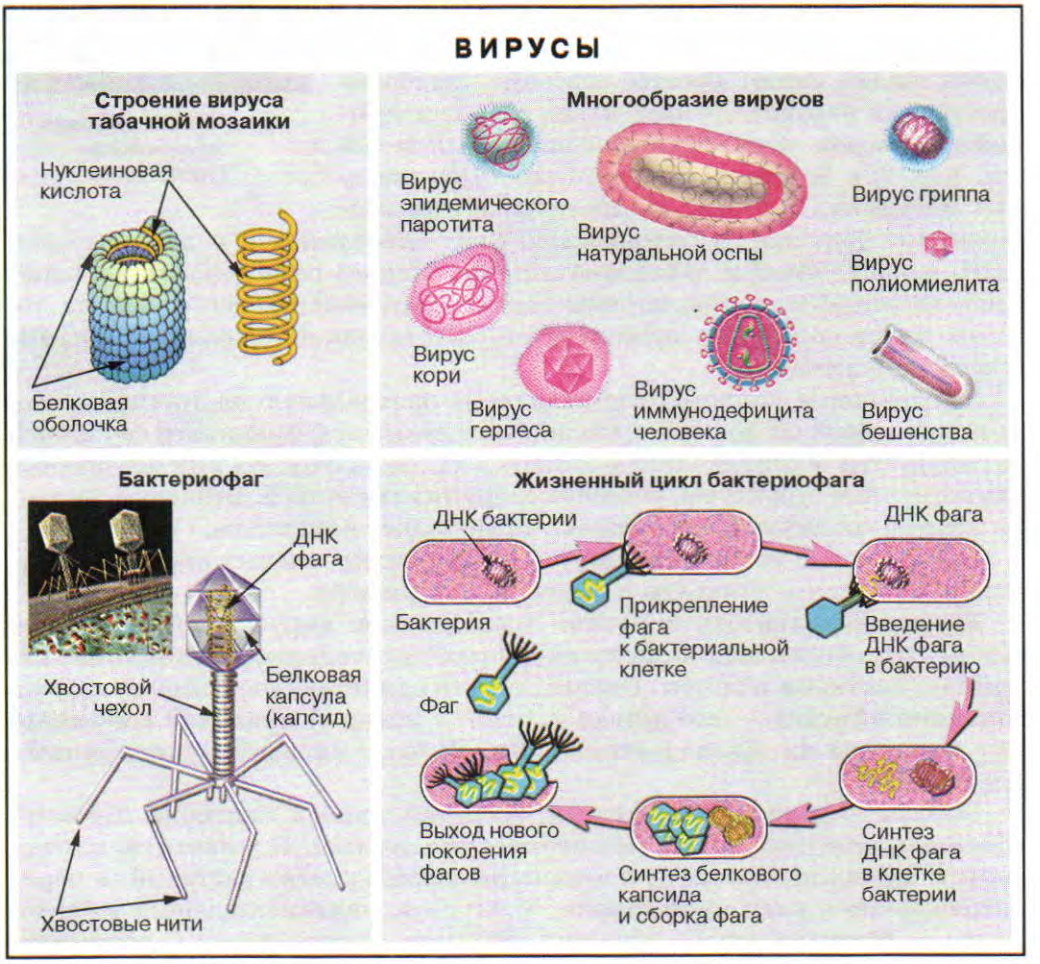


Рис. 26. Многообразие вирусов

Известно множество заболеваний человека, имеющих вирусную природу: грипп, оспа, корь, герпес, полиомиелит, инфекционный гепатит, СПИД и т. д. Самый обычный способ распространения — капельная инфекция. Так передаются возбудители кори, краснухи, гриппа, паротита. Возбудителей таких заболеваний, как клещевой энцефалит и жёлтая лихорадка, переносят членистоногие — клещи, комары. Вирус иммунодефицита передаётся контактным путём через слизистые оболочки половых органов, а также через кровь при использовании нестерилизованных хирургических инструментов и шприцев.

Вирусы способны изменяться. Очень изменчивы типы вирусов гриппа. Изменения касаются белков, составляющих оболочку вирусов. Именно на эти белки, являющиеся для клетки-хозяина антигенами, вырабатывается защита — соответствующие им антитела. Антитела соединяются с антигенами и в таком виде удаляются из организма. Эти реакции лежат в основе формирования иммунитета против гриппа.

Вопрос о происхождении вирусов до сих пор ещё окончательно не решён. Существует несколько гипотез. Одни учёные считают, что вирусы возникли из микроорганизмов. Другие убеждены, что они эволюционировали из отдельных органоидов клеток — митохондрий, хлоропластов.

Наука о вирусах (вирусология) изучает основные принципы строения, размножения вирусов, их взаимодействие с клеткой-хозяином, происхождение и распространение в природе.

Вирусы — мельчайшие частицы, являясь клеточными паразитами, не имеют возможности осуществлять собственный обмен веществ. Размножение вирусов возможно также лишь в клетке хозяина. Однако многие учёные всё же относят вирусы к живым организмам, поскольку они способны к самовоспроизведению. Всестороннее изучение вирусов имеет большое практическое значение для профилактики вирусных заболеваний растений, животных, человека.

Вопросы и задания

1. Используя информацию, которую содержит рис. 26, выявите особенности строения вирусов и укажите черты, отличающие их от других живых организмов.
2. Как строение вирусов определяет особенности их жизнедеятельности?
3. Охарактеризуйте жизненный цикл бактериофага.
4. Почему учёные до сих пор спорят по поводу принадлежности вирусов к живым организмам или к неживой природе? Аргументируйте свой ответ.
5. Очертите круг вопросов о вирусах, на которые вы бы хотели получить ответ в беседе с учёными-вирусологами. Используя ресурсы Интернета (сайты www.ru.wikipedia.org, www.membrana.ru, www.elementy.ru), попробуйте ответить на них самостоятельно.

§ 17. Одноклеточные и многоклеточные организмы

Что лежит в основе многообразия живых организмов?

Одноклеточные организмы. Организмы, тело которых состоит из одной клетки, относят к одноклеточным. Существуют два уровня организации одноклеточных — прокариотный и эукариотный (см. § 9).

Для одноклеточных прокариот характерно отсутствие клеточного ядра. К прокариотам относят бактерии и синезелёные водоросли (цианеи).

Диаметр самых мелких бактерий составляет около 0,1 мкм, т. е. они даже мельче крупных вирусов. Крупные бактерии, такие как сенная палочка, можно наблюдать в световой микроскоп. Клеточная мембрана бактерий окружена прочной клеточной оболочкой. Их генетический материал заключён в единственной молекуле ДНК, имеющей кольцевую структуру. Прокариоты лишены хлоропластов, митохондрий, аппарата Гольджи и некоторых других органоидов, характерных для эукариот.

Однако, несмотря на простое строение клетки, прокариоты способны осуществлять процессы, не характерные для эукариот. Например, азотфиксирующие бактерии в своей жизнедеятельности используют молекулярный азот воздуха.

Какие растения пользуются способностью бактерий добывать азот из воздуха?

Питание бактерий может быть как автотрофным, так и гетеротрофным. Среди автотрофов встречаются бактерии, способные к усвоению CO_2 вследствие окисления неорганических веществ. При этом химическая энергия неорганических соединений преобразуется в молекулы АТФ.

Фотосинтезирующие бактерии, как и зелёные растения, способны получать АТФ для синтеза органических соединений благодаря лучистой энергии Солнца.

Наиболее древними автотрофными организмами учёные считают цианеи, которых прежде называли синезелёными водорослями. Цианеи — водные или почвенные микроорганизмы, которые существуют в виде отдельных клеток или представлены длинными нитями и колониями (рис. 27).

Их клетки по строению во многом схожи с бактериальными. Ввиду отсутствия хлоропластов фотосинтез в них осуществляется на мембранах клетки, содержащих хлорофилл.

Цианеи входят в состав планктона и бентоса пресных вод и морей, живут на поверхности почвы, в горячих источниках с температурой воды

Рис. 27. Цианеи

80 °С. Этих прокариот можно назвать «пионерами жизни», так как они первыми заселяют крайне сложные, экстремальные районы (высокогорья, Арктику, Антарктику).

Большинство бактерий питаются гетеротрофно. Одни из них потребляют готовые органические вещества мёртвых тел, являясь ***сапротрофами*** (от греч. *sapros* — гнилой, *trophē* — пища, питание). Их роль в природе огромна: превращая органические соединения в неорганические, они обеспечивают круговорот веществ в экосистеме. Другие поглощают органические вещества живых организмов. Это паразитические бактерии, являющиеся возбудителями различных заболеваний растений, животных, человека.

Одноклеточные эукариоты — простейшие животные, одноклеточные растения (водоросли) и грибы сочетают свойства клетки и самостоятельного организма. В отличие от прокариот они имеют ядро, способны к митозу. По общему плану строения и набору органоидов одноклеточные эукариоты сходны с клетками многоклеточных организмов. Однако по уровню сложности процессов жизнедеятельности они даже значительно превосходят их.

Среди простейших животных есть достаточно сложно устроенные организмы, например водоросли ацетабулярии, инфузории.

Многие одноклеточные образуют колонии, в которых клетки функционируют как самостоятельные организмы, но связаны между собой

цитоплазматическими мостиками (например, вольвокс). Существование подобных колониальных организмов подтверждает одну из научных гипотез происхождения многоклеточных организмов от некоторых колониальных простейших.

Многоклеточные организмы. К многоклеточным организмам относятся растения, животные и грибы. Их тело состоит из множества клеток и межклеточного вещества. Характерным признаком многоклеточных является качественная неравноценность клеток, которые становятся высокоспециализированными. Клетки выполняют разные функции в целостном организме и объединены в ткани и органы. Строение некоторых клеток часто упрощается, хотя они выполняют свою работу качественно — точно и чётко.

Для многоклеточных характерно индивидуальное развитие, начинающееся с деления одной клетки: споры или зиготы.

Большинство многоклеточных организмов — эукариоты. По типу питания их подразделяют на автотрофы, гетеротрофы и миксотрофы.

К автотрофам, как известно, относят подавляющее большинство растений. Гетеротрофы — это животные, грибы, а также растения, лишённые хлорофилла. Среди них известны сапротрофы (большинство грибов) и паразиты, способные существовать лишь за счёт других организмов, нанося им вред.

Миксотрофы (от греч. *mixis* — смешение, *trophē* — пища, питание) способны сочетать одновременно различные типы питания (например, эвглена зелёная активно фотосинтезирует на свету, а при его недостатке переходит к гетеротрофному питанию).

Многоклеточных животных, имеющих пищеварительную систему, относят к ***голозоям***. Характерной особенностью голозойного питания являются захват и поедание пищи, её переваривание и всасывание питательных веществ. Если пищей голозоям служат растения, то таких гетеротрофов относят к растительноядным, питающихся животной пищей — к плотоядным, а использующих в пищу как растения, так и животных — к всеядным.

Вопросы и задания

1. Пользуясь текстом учебника, а также ресурсами Интернета, составьте краткую характеристику одноклеточных прокариот по плану: 1 — строение; 2 — тип питания; 3 — особенности жизнедеятельности и роль в природе и жизни человека.
2. Объясните, почему клетки многих тканей многоклеточных организмов устроены проще, чем клетки одноклеточных организмов.
3.* Используя знания из предыдущих разделов биологии, а также сайты Интернета (www.ru.wikipedia.org), составьте краткий обзор основных групп многоклеточных организмов: растений, грибов, животных. Отметьте у них черты сходства и особенности каждой группы.
4.* Докажите (на примере организма человека), что многоклеточный организм — не сумма клеток и тканей, а единая целостная система.

§ 18. Размножение организмов. Бесполое размножение

Чем различаются половое и бесполое размножение?

Размножение. Одна из важнейших особенностей организмов — способность к размножению, или ***репродукции*** (от лат. *re* — повторение, *productio* — производство). Из курсов биологии 6, 7 и 8-го классов вам известно, что размножение обеспечивает продолжение жизни.

У организмов различают два типа размножения — бесполое и половое.

Бесполое размножение заключается в воспроизведении себе подобных без участия половых клеток (рис. 28). В бесполом размножении принимает участие лишь одна родительская особь. Среди способов этого типа размножения можно выделить простое митотическое деление простейших, вегетативное размножение и спорообразование.

Простейшие, например амёба, инфузория, эвглена зелёная, размножаются путём митотического деления клетки надвое. Вначале происходит митоз, затем — разделение цитоплазмы. В результате одна материнская особь даёт начало двум дочерним одноклеточным организмам.

Для любознательных

У одноклеточного паразита малярийного плазмодия, фораминифер, некоторых водорослей бесполое размножение осуществляется путём так называемого множественного деления. При множественном делении ядро материнской особи быстро делится чередующимися друг за другом митозами. Образуется многоядерная клетка, которая затем распадается на соответствующее число одноядерных клеток. Эта форма бесполого размножения позволяет организмам быстро увеличивать свою численность.

Вегетативное размножение чаще встречается у особей, ведущих неподвижный образ жизни (растения, грибы, некоторые кишечнополостные). Размножение происходит частями материнского организма. В основе вегетативного размножения также лежит митотическое деление соматических (неполовых) клеток. Поэтому дочерние организмы получают точную копию генетического материала родителя.

Размножение растений вегетативными органами: корнями, побегами, листьями или их частями (фрагментами) — называют ***фрагментацией*** (от греч. *phragmos* — перегородка) (рис. 29). Фрагментацию растений широко используют в практике садоводства, овощеводства и цветоводства, так как это очень удобный и быстрый способ получить много посадочного материала от одного растения с заданными качествами.

БЕСПОЛОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ ОРГАНИЗМОВ

Формы бесполого размножения

Митотическое деление

Деление (простейшие)

Множественное деление (простейшие)

Вегетативное размножение

Почкование (беспозвоночные, например гидры)

Фрагментация (беспозвоночные, например черви, морские звёзды)

Спорообразование

Из спор высших растений вырастает гаметофит (гаплоидное поколение)

Фрагментация морской звезды

Пятилучевая морская звезда — жертва хищной расписной креветки

Морская звезда ломается, оставляя один луч

Если креветка не съест луч, он может превратиться в новую морскую звезду

Потерянная при нападении часть луча регенерирует

Рис. 28. Способы бесполого размножения в природе

Рис. 29. Вегетативное размножение растений — быстрый способ получения большого количества посадочного материала с заданными качествами

Фрагментация встречается у лишайников, грибов, а также многих червей. Например, свободноживущие ресничные черви, спасаясь от хищников, «разрывают себя на куски». Из каждой части затем формируется новый организм.

Почкование — ещё один способ вегетативного размножения (см. рис. 28). Он широко представлен у кишечнополостных (гидры, коралловые полипы), губок, некоторых кольчатых червей. У родительской особи на теле появляется вырост (почка), из которой затем формируется дочерний организм. Почкованием размножаются и одноклеточные грибы дрожжи. У ряда организмов почкование не доходит до конца — молодые особи остаются соединёнными с материнским организмом, в результате чего возникает колония (например, у коралловых полипов).

Как уже отмечалось, в основе описанных форм бесполого размножения лежит митоз. Поэтому дочерние особи имеют диплоидный ($2n$) набор хромосом и повторяют признаки материнского организма.

Спорообразование. Размножение спорами широко встречается у грибов и растений, как низших (водоросли), так и высших (мхи, папоротники, хвощи, плауны) (рис. 28). ***Споры*** — репродуктивные клетки, служащие для размножения и расселения. Они покрыты плотной, устойчивой к внешним воздействиям оболочкой. У грибов и низших растений споры возникают путём митоза. Споры водорослей, как правило, имеют жгутики для передвижения и называются ***зооспорами***.

У высших растений споры образуются в результате редукционного деления (мейоза) и всегда гаплоидны, т. е. содержат одинарный (n) набор хромосом. Из таких спор развивается гаплоидное поколение — ***гаметофит***, на котором впоследствии формируются половые клетки — гаметы. Так, у папоротников гаметофит представлен заростком.

Бесполое размножение широко распространено в природе. Преимущество этого способа размножения состоит в том, что для размножения требуется лишь одна особь. Кроме того, в большинстве случаев достижение стадии половозрелости при бесполом размножении осуществляется в значительно более короткий срок.

Вегетативное размножение активно применяется в растениеводстве для получения посадочного материала с желаемыми признаками. Генетически идентичного потомка, полученного от одного материнского организма, называют ***клоном***.

Для любознательных

Клонированием растений в целях быстрого получения экземпляров с заданными свойствами люди занимаются с палеолита. До сих пор на приусадебных участках размножают клубнику усами, а чёрную смородину — отводками. Однако сейчас термин «клонирование» обычно используется в более узком смысле и означает копирование клеток, генов, антител и даже многоклеточных организмов в лабораторных условиях. Так как у растений, в отличие от многих животных, хорошо развита способность к регенерации, то практически из каждой растительной клетки, стимулируя её к митотическому делению, в лабораторных условиях можно получить новый клонированный организм (рис. 30). Появившиеся в результате бесполого размножения экземпляры по определению генетически одинаковы, однако и у них можно наблюдать наследственную изменчивость, обусловленную случайными мутациями. Используя метод клонирования, селекционеры получают безвирусный посадочный материал для быстрого размножения растений в больших масштабах (в том числе редких и исчезающих видов).

В природе генетическое однообразие потомков, возникающих при вегетативном размножении, не способствует их высокой выживаемости в постоянно меняющихся условиях среды.

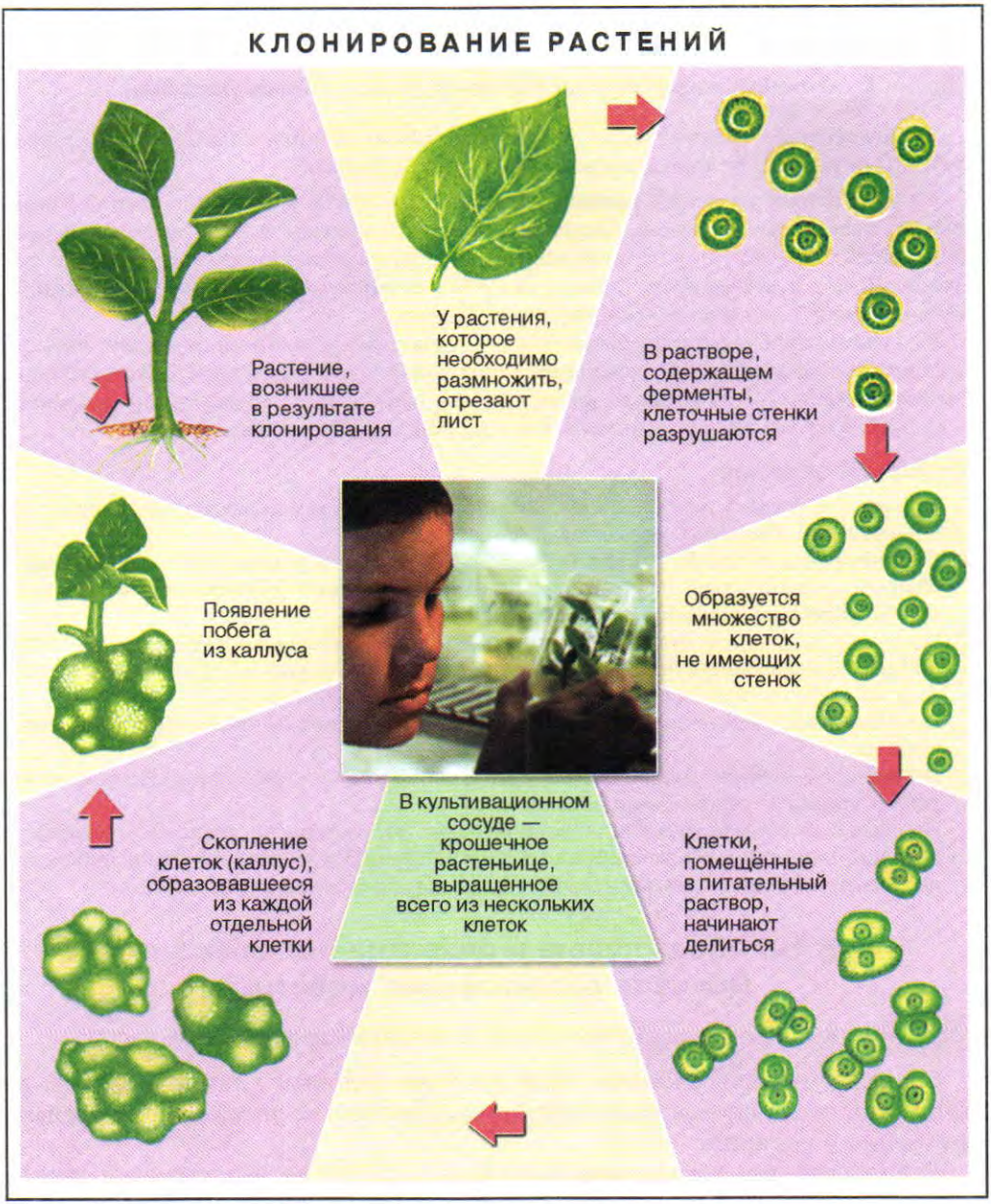


Рис. 30. В лабораторных условиях практически из каждой растительной клетки можно получить новый организм

ПРОВЕДИТЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Отработка приёмов вегетативного размножения растений

Цель работы — научиться вегетативному размножению комнатных растений, требующих разных условий укоренения и выращивания.

От комнатных растений разных видов (лучше взять колеус и эхеверию) возьмите по нескольку черенков. Черенки колеуса поместите в воду до образования придаточных корней. Спустя неделю посадите их в одинаковые ёмкости с рыхлой почвой. Розетки эхеверии подсушите в течение нескольких дней на подоконнике, затем укорените в смеси компостной земли и песка.

Полученные дочерние растения поместите в разные условия освещённости: на подоконник при умеренном освещении (контроль), в световую камеру при сильном освещении (опыт № 1) и вдали от источника света при слабом освещении (опыт № 2). Наблюдайте за растениями в течение нескольких недель.

Вопросы и задания

1. Объясните, почему при бесполом размножении потомки являются генетическими копиями родительского организма.
2. Информацию, которую содержит рис. 28, представьте в виде логической схемы. Каждый из способов бесполого размножения проиллюстрируйте примерами растений, животных, грибов.
3.* Используя дополнительную литературу, ресурсы Интернета, составьте презентацию на тему «Широкое использование вегетативного размножения в практике растениеводства». Выступите с сообщением перед одноклассниками.
4. Докажите, что бесполое размножение в природе имеет и преимущества, и недостатки.
5. Объясните значения терминов «репродукция», «клон», «гаметофит». Почему гаметофит называют гаплоидным поколением?
6. Используя информацию, которую содержит рис. 30, составьте сообщение о микроклональном размножении растений. Используя ресурсы Интернета (www.biotechnolog.ru), дополните сообщение интересными фактами о применении этого метода.

§ 19. Образование и развитие половых клеток. Половое размножение животных

Какие особенности имеет хромосомный набор половых клеток?

Строение половых клеток. При участии половых клеток — *гамет* — осуществляется половое размножение организмов, встречается оно преимущественно у эукариот.

У большинства организмов гаметы поразительно различаются между собой. Женская гамета — ***яйцеклетка*** — обладает рядом отличительных черт строения, непосредственно связанных с её функциями. Наиболее оче-

видное её отличие от других клеток — большие размеры. Типичная соматическая клетка имеет диаметр около 20 мкм, яйцеклетка человека — около 100 мкм, у лягушек и рыб — около 2 мм, а у птиц и рептилий диаметр яйца измеряется сантиметрами.

Другая особенность строения яйцеклетки — наличие в ней большого количества желтка. Особенно его много в яйцеклетках тех организмов, развитие которых происходит вне тела матери. Это рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, птицы.

Ещё одна важная структура яйцеклетки — её яйцевая оболочка, которая плотно прилегает к цитоплазматической мембране клетки.

Мужские гаметы — ***сперматозоиды*** — по сравнению с яйцеклеткой намного мельче (рис. 31). Их форма у разных видов организмов может различаться. Типичный сперматозоид — клетка, снабжённая мощным жгутиком, который состоит из микротрубочек цитоскелета и позволяет сперматозоиду передвигаться в жидкой среде. При этом в клетке отсутствуют рибосомы и эндоплазматическая сеть, а аппарат Гольджи сильно видоизменён и превращён в переднюю часть головки. В шейке сперматозоида содержатся многочисленные митохондрии.

Таким образом, сперматозоид состоит из головки, где расположено ядро, шейки с митохондриями и жгутика.

Следует напомнить, что гаметы гаплоидны, т. е. содержат одинарный (n) набор хромосом. При слиянии мужской и женской гамет диплоидный набор хромосом ($2n$) в организме восстанавливается.

Образование и развитие гамет. Процесс формирования половых клеток (гамет) — ***гаметогенез*** — у многоклеточных животных проходит в ***гонадах*** — половых железах. Яйцеклетки развиваются в яичниках, сперматозоиды — в семенниках.

У позвоночных животных клетки — предшественники гамет обособляются в период развития зародыша. Развивающиеся женские половые клетки претерпевают изменения ещё в эмбрионе. На первом этапе своего развития первичные половые клетки проходят ряд последовательных митотических делений, при этом их число значительно увеличивается.

На втором этапе развития идёт подготовка к последующему делению: количество ДНК в ядре клеток удваивается (генетический материал такой клетки можно выразить формулой $2n4c$). Начинается первое деление мейоза.

Каковы особенности мейоза?

У развивающихся женских гамет первое деление мейоза длится годы. За это время клетки растут. Первое деление мейоза завершается в период полового созревания особи. В результате несимметричного деления цито-

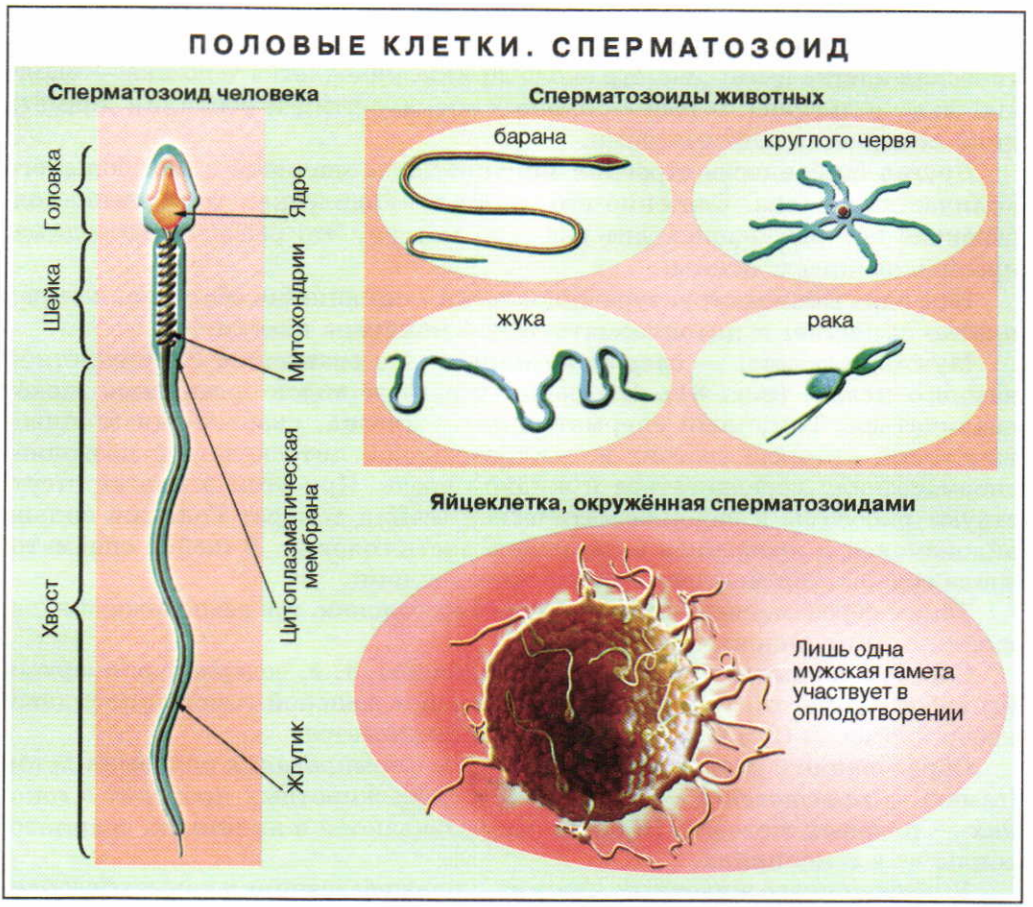


Рис. 31. Особенности строения сперматозоида непосредственно связаны с его функцией

плазмы образуются две неравные клетки: крупная развивающаяся женская гамета и мелкая — ***полярное тельце.***

Второе деление мейоза следует сразу за первым: полярное тельце и крупная клетка делятся. Полярное тельце даёт начало двум подобным клеткам, а из развивающейся половой клетки в результате неравного распределения цитоплазмы снова образуются крупная клетка и полярное тельце.

Таким образом, развивающаяся женская половая клетка даёт начало лишь одной полноценной клетке, в которой сосредоточено большое количество питательных веществ. В дальнейшем она превращается в зрелую яйцеклетку. Полярные тельца со временем разрушаются и, возможно, используются для формирования оболочек яйцеклетки.

Мужские первичные половые клетки начинают делиться лишь в период полового созревания организма. Дальнейшее их развитие протекает сходным образом. Однако в результате второго деления мейоза образуются четыре одинаковые клетки, каждая из которых формируется в зрелый сперматозоид (рис. 32).

? Как происходит оплодотворение?

Процесс слияния двух гамет, в результате которого образуется ***зигота*** (от греч. *zygōtē* — соединённый вместе), называют ***оплодотворением***.

Оплодотворение начинается с момента, когда головка сперматозоида соприкасается с яйцевой защитной оболочкой и мужская гамета проникает сквозь цитоплазматическую мембрану яйцеклетки.

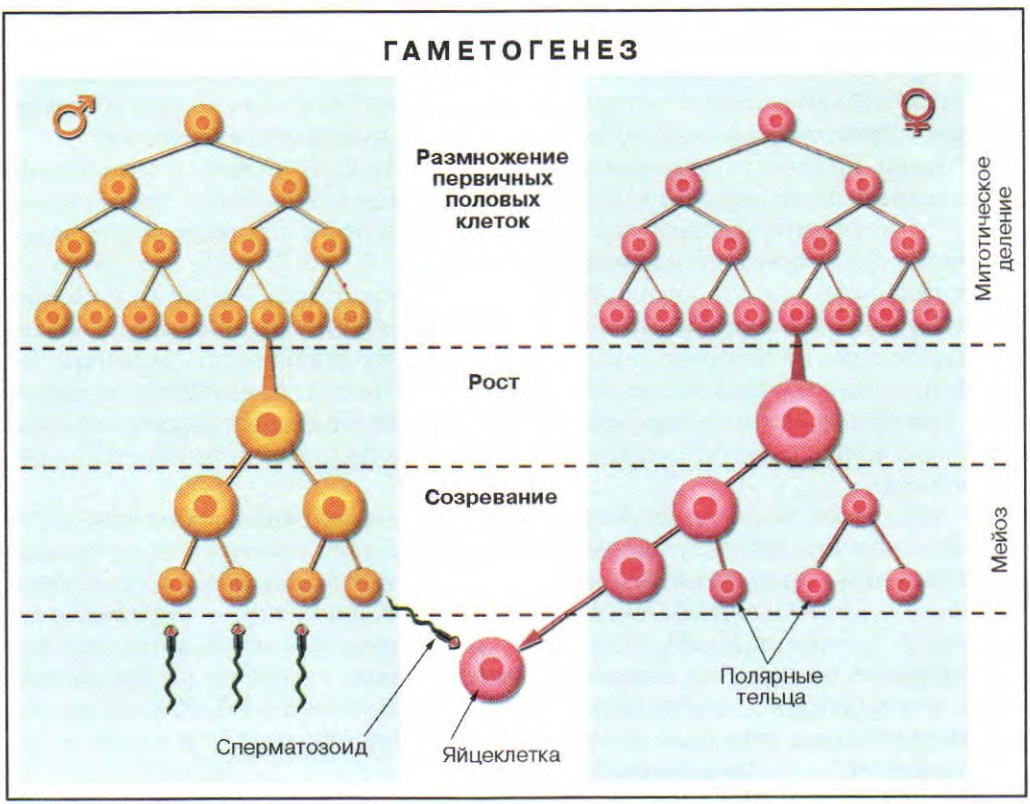


Рис. 32. Образование и развитие половых клеток

Для любознательных

С 60-х годов XX в. учёными различных стран ведутся работы по получению зиготы методом клонирования. В организме животного берут яйцеклетку, из которой в дальнейшем удаляют ядро. На его место помещают ядро диплоидной соматической клетки особи того же вида. Это могут быть клетки многоклеточного эмбриона, а также клетки, выделенные из молочной железы или эпителия взрослого организма (рис. 33). Полученную таким образом способную делиться зиготу имплантируют в матку животного. Родившийся детёныш наследует все гены организма, клетка которого явилась донором ядра. Данный метод успешно опробован на животных разных видов: получены клонированные мыши, кролики, телята, ягнята.

В процессе оплодотворения происходит активация яйца, т. е. переход его от состояния покоя к развитию: зигота приступает к делению. Слияние ядер двух гамет приводит к образованию в зиготе диплоидного набора хромосом. Из зиготы в дальнейшем сформируется диплоидный организм. В результате объединения отцовского и материнского генетических материалов у дочерней особи неизбежны новые комбинации признаков.

Формы полового размножения у животных. Половое размножение свойственно подавляющему большинству эукариот, однако преобладает оно у животных и высших растений. Чаще всего в природе встречается ***половое размножение с оплодотворением***.

Организмы, имеющие одновременно и мужские и женские половые железы, называют ***гермафродитами***. К ним относят плоских и кольчатых червей, некоторых моллюсков и других животных. Несмотря на наличие у них одновременно семенников и яичников, самооплодотворения, как правило, не происходит. Большинство животных раздельнополы (круглые черви, двустворчатые и головоногие моллюски, членистоногие, хордовые).

У пчёл, тлей, некоторых ящериц встречается ***половое размножение без оплодотворения***. Яйцеклетка начинает дробиться без участия сперматозоида и развивается в полноценный организм. Такой тип размножения без оплодотворения носит название ***партеногенеза*** (от греч. *parthenos* — девственница, *genesis* — происхождение). В природе партеногенез — явление редкое и в большинстве случаев не является единственным способом размножения вида, а чередуется с нормальным половым размножением. У пчёл из неоплодотворённых яиц развиваются лишь самцы (трутни), у ящериц и некоторых тлей — только самки.

Наш соотечественник Б. Л. Астауров в 1940 г. разработал промышленный способ получения партеногенетического потомства у тутового шелкопряда.

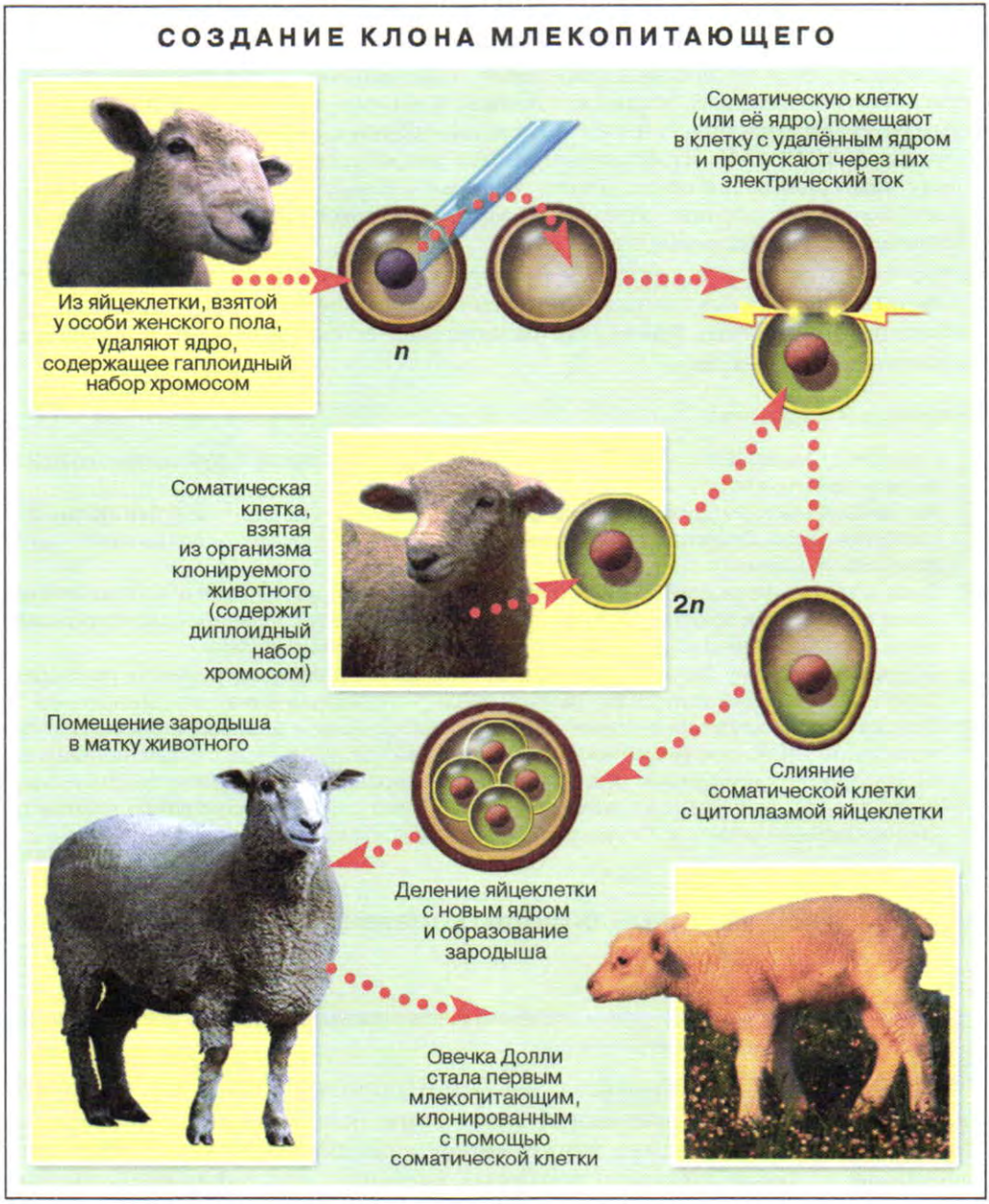


Рис. 33. Клонирование животных

Для любознательных

Воздействуя на неоплодотворённые яйца бабочек тутового шелкопряда высокой температурой, можно искусственно вызвать их развитие. Из подвергшихся такому тепловому шоку неоплодотворённых яиц развиваются только самцы. В 1940 г. Б. Л. Астауровым был разработан способ искусственного получения поколения одних самцов. Это имело большое практическое значение в шелководстве: коконы, образуемые самцами тутового шелкопряда, содержат более длинную шёлковую нить.

Биологическое значение партеногенеза заключается в возможности размножения при редких контактах разнополых особей и резкого увеличения численности потомства.

Вопросы и задания

1. Покажите взаимосвязь строения яйцеклетки и сперматозоида с функциями, которые выполняют эти клетки.
2. Используя информацию, которую содержит рис. 32, проанализируйте процессы развития гамет. Сравните гаметогенез яйцеклетки и сперматозоида, выявите черты сходства и различия.
3. Сравните половое размножение с бесполым, укажите черты отличия. В потомстве каких организмов следует ожидать большего генетического разнообразия: размножающихся бесполым или половым путём? Ответ аргументируйте.
4. Объясните, почему половое размножение так широко распространено в природе.
5. Дайте определение терминам «гаметогенез», «оплодотворение», «партеногенез».
6. Используя информацию рубрики «Для любознательных» и рис. 33 учебника, а также материалы Интернета (www.membrana.ru, www.elementy.ru), подготовьте сообщение об истории клонирования млекопитающих животных. Попробуйте очертить круг проблем, которые могут возникнуть в обществе в случае узаконивания опытов по клонированию человека. Результат работы представьте в виде презентации.

§ 20. Двойное оплодотворение у цветковых растений

Какие преимущества в строении имеют покрытосеменные растения перед голосеменными?

Гаметофит. У всех высших растений половые клетки формируются на гаметофите — гаплоидном поколении, развивающемся из споры. У мхов (сфагнум, кукушкин лён) гаметофит представлен листостебельным растением, у папоротников и семенных растений гаметофит слабо развит и недолговечен. Так, у папоротников из споры вырастает заросток. Зарос-

ток не расчленён на органы, имеет ризоиды, позднее на нём формируются половые клетки.

У моховидных и папоротниковидных половое размножение тесно связано с водой: только при наличии капельно-жидкой влаги сперматозоиды продвигаются к яйцеклетке.

В предыдущих классах при изучении биологии растений вы знакомились с циклами развития высших споровых и семенных растений. Если у мхов в цикле развития преобладает гаметофит, то уже у папоротников он представлен заростком. У семенных растений гаметофит сильно редуцирован. Например, семенные растения имеют раздельнополые гаметофиты, которые развиваются из разных спор. ***Микроспоры*** дают начало мужскому гаметофиту, ***мегаспоры*** — женскому.

У цветковых растений мужской гаметофит представлен пыльцевым зерном, созревающим в пыльнике тычинки и формирующимся из микроспор. При созревании в пыльцевом зерне образуются две клетки — ***генеративная*** и ***вегетативная***.

Женский гаметофит, развившийся из мегаспоры, представляет собой зародышевый мешок, расположенный внутри семязачатка. В зародышевом мешке происходит ряд делений — в результате образуются шесть гаплоидных клеток, среди которых яйцеклетка и одно двойное (центральное) ядро (рис. 34).

Двойное оплодотворение у цветковых растений. В 1898 г. русский цитолог и эмбриолог С. Г. Навашин открыл у покрытосеменных (цветковых) растений особый тип оплодотворения, которое получило название ***двойного оплодотворения***. Рассмотрим подробнее этот процесс.

В результате опыления (переноса пыльцы из пыльников на рыльце пестика) пыльцевое зерно (пылинка) начинает прорастать. При участии вегетативной клетки формируется пыльцевая трубка, по которой движется генеративная клетка. Она даёт начало двум мужским гаметам — спермиям. Спермий — безжгутиковый сперматозоид, не способный к активному движению.

Пыльцевая трубка продвигается вниз к завязи и врастает в зародышевый мешок в области пыльцевхода. После этого кончик трубки разрывается и два спермия попадают внутрь зародышевого мешка. Один из них сливается с яйцеклеткой, образуя зиготу, а другой — с центральным ядром, формируя триплоидное ядро центральной клетки.

Таким образом, в оплодотворении участвуют два спермия. Двойное оплодотворение свойственно лишь цветковым растениям.

Из зиготы впоследствии формируется зародыш семени с диплоидным набором хромосом, из триплоидной клетки — эндосперм (питательная ткань семени). Из покровов семязачатка закладывается кожура семени, а из стенок завязи — околоплодник.

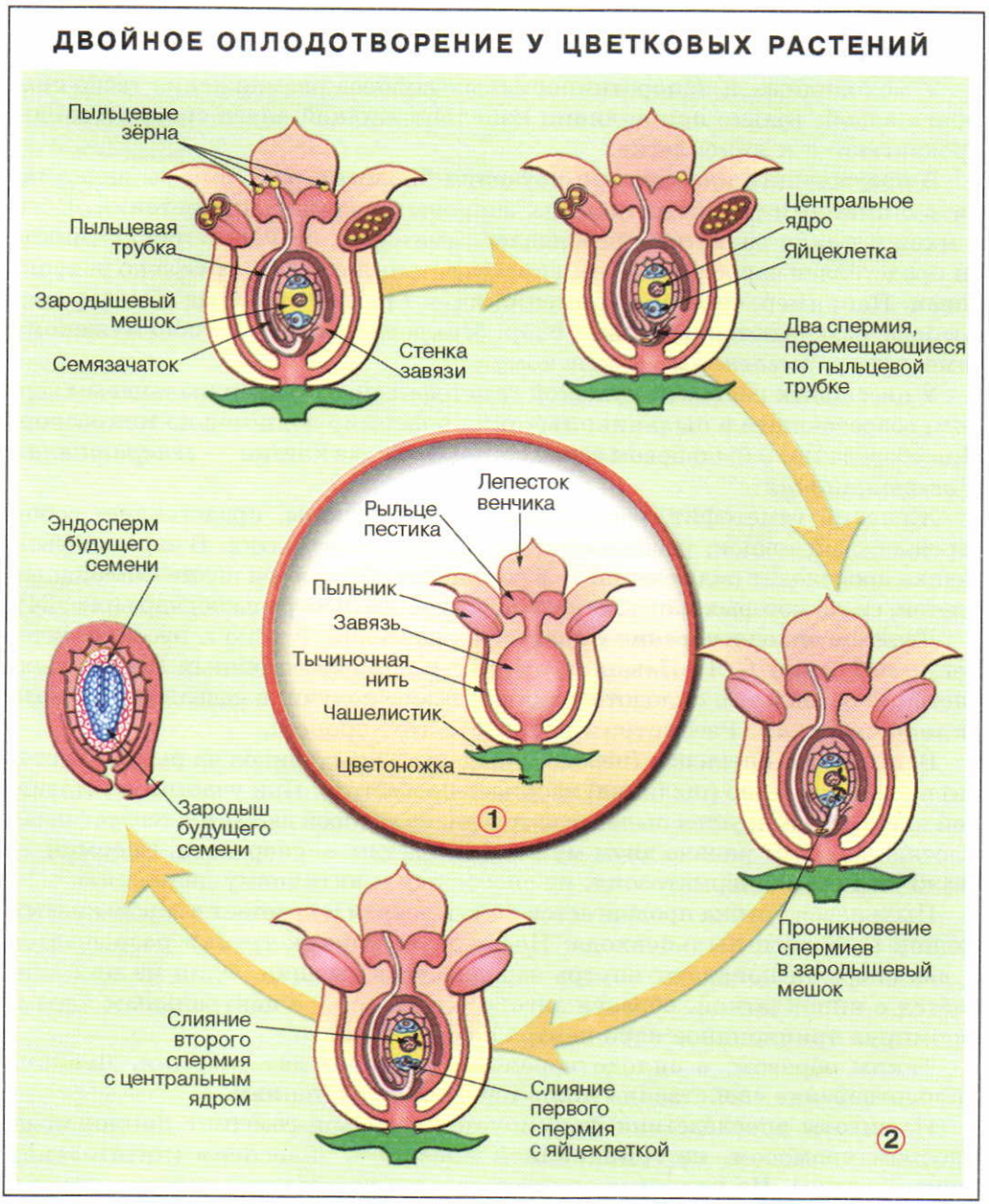


Рис. 34. Строение цветка (1); двойное оплодотворение у покрытосеменных растений (2)

Итак, цветок у покрытосеменных растений представляет собой укороченный спороносный побег. Он служит для образования спор и гамет, для опыления и оплодотворения, после которого образуются плоды и семена. Благодаря двойному оплодотворению зародыш цветкового растения получает запас питательных веществ, которые расходует при прорастании. Околоплодник защищает семена и способствует лучшему их распространению.

Диплоидное поколение высших растений, образующееся при объединении генетических материалов женской и мужской гамет, называют ***спорофитом***. На спорофите в дальнейшем образуются споры.

Вопросы и задания

1. Объясните, что представляет собой гаметофит у разных групп высших растений. В каких частях цветка покрытосеменных растений созревают мужские и женская гаметы?
2. Охарактеризуйте процесс двойного оплодотворения у покрытосеменных (цветковых) растений. В силу каких особенностей он получил такое название?
3. Объясните, почему гаметофит, как стадию в жизненном цикле разных групп высших растений, называют половым поколением, а спорофит — бесполым.
4. Можно ли утверждать, что одна из причин широкого распространения цветковых растений на планете — появление у них в процессе эволюции двойного оплодотворения? Ответ аргументируйте.

§ 21. Индивидуальное развитие организмов

Какие этапы проходит организм в своём развитии?

Онтогенез. Одна из характерных черт организма — его индивидуальное развитие, которое осуществляется на основе наследственной программы, заключённой в генах.

Термин «онтогенез» ввёл немецкий учёный Эрнст Геккель в 1866 г.

Онтогенез (от греч. *ontos* — сущее, *genesis* — происхождение) — индивидуальное развитие особи от зарождения до конца жизни. У организмов, размножающихся половым путём, зарождением принято считать начало деления оплодотворённой клетки. При вегетативном размножении растений онтогенез начинается с деления соматических клеток вегетативных органов, например корневища, клубня, луковицы. Развитие особи, последовательность морфологических, физиологических и биохимических изменений, претерпеваемых организмом за этот период, составляет содержание процесса онтогенеза. Вопрос о том, как из одной клетки формируется сложный многоклеточный организм, состоящий из

специализированных клеток, тканей, органов, издавна волновал учёных.

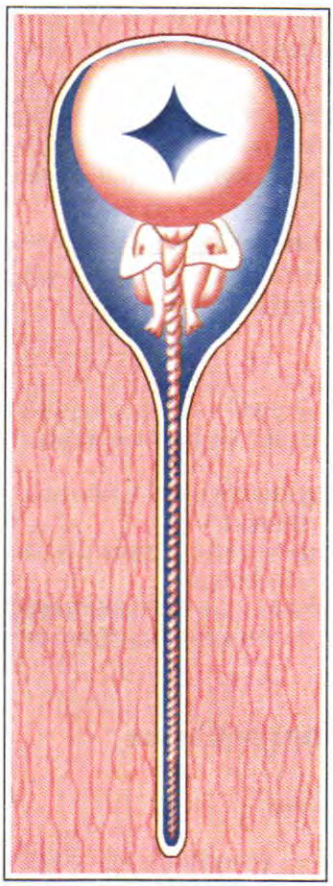


Рис. 35. Так преформисты представляли себе мужские половые клетки

Для любознательных

До XVIII в. в биологии господствовало мнение о том, что в половых клетках (яйцеклетка или сперматозоид) находится уже в сформированном состоянии зародыш будущего организма и в дальнейшем происходит лишь увеличение в размерах и уплотнение ранее невидимых тканей. Это учение получило название *преформизм* (от лат. *praeformo* — заранее образую). Преформистские взгляды разделяли А. Левенгук, М. Мальпиги (рис. 35).

Во второй половине XVIII в., когда были накоплены данные о том, что потомки наследуют и материнские и отцовские качества, в биологии стало преобладать другое учение — *эпигенез* (от греч. *epi* — над, сверх, *genesis* — происхождение). Согласно теории эпигенеза в половых клетках присутствует однородная материя, которая, развиваясь, формирует вначале зачатки органов и тканей, затем зародыш в целом.

С открытием в XX в. генов и хромосом на смену примитивным представлениям о развитии пришло учение о генетической информации, направляющей ход онтогенеза. Все признаки организма определяются последовательностью нуклеотидов в ДНК клетки. В ДНК «записана» программа индивидуального развития особи.

Типы развития у животных. У животных выделяют два типа онтогенеза — прямой и непрямой.

Непрямой тип характеризуется тем, что яйцеклетка содержит мало питательных веществ, необходимых для завершения развития. Поэтому имеется стадия личинки, на которой формируются особые личиночные приспособления (рис. 36). Так, для головастика характерны обтекаемая форма тела, жаберное дыхание, хвост, боковая линия и другие черты, способствующие выживанию в водной среде. В дальнейшем личинка претерпевает превращения, при которых разрушаются личиночные приспособления и

формируется взрослый организм лягушки. Этот тип онтогенеза, который называют ещё *личиночным*, характерен для земноводных, сцифоидных медуз и других животных.

Прямой тип онтогенеза характерен для птиц, пресмыкающихся, млекопитающих. Стадия личинки в таком онтогенезе отсутствует.

У птиц и пресмыкающихся яйцеклетки богаты желтком, которого достаточно для окончания развития. Зародыш развивается в яйце, не имея связи с материнским организмом (рис. 36).

У млекопитающих яйцеклетка почти не содержит питательных веществ, а питание зародыша осуществляется благодаря организму матери. Поэтому такое развитие называют *внутриутробным*.

Периоды и стадии онтогенеза. У всех многоклеточных животных он состоит из двух периодов — эмбрионального и постэмбрионального.

Эмбриональный период — это отрезок времени от начала дробления зиготы и до выхода организма из яйцевых или зародышевых оболочек.

Спустя некоторое время после оплодотворения зигота начинает дробиться. Благодаря следующим друг за другом митотическим делениям из одной крупной оплодотворённой яйцеклетки образуется множество более мелких клеток — ***бластомеров*** (рис. 37). Формируется многоклеточный эмбрион, развитие которого у большинства животных проходит ряд стадий:

Рис. 36. Типы онтогенеза: прямой (неличиночный) у крокодила и непрямой у саламандры

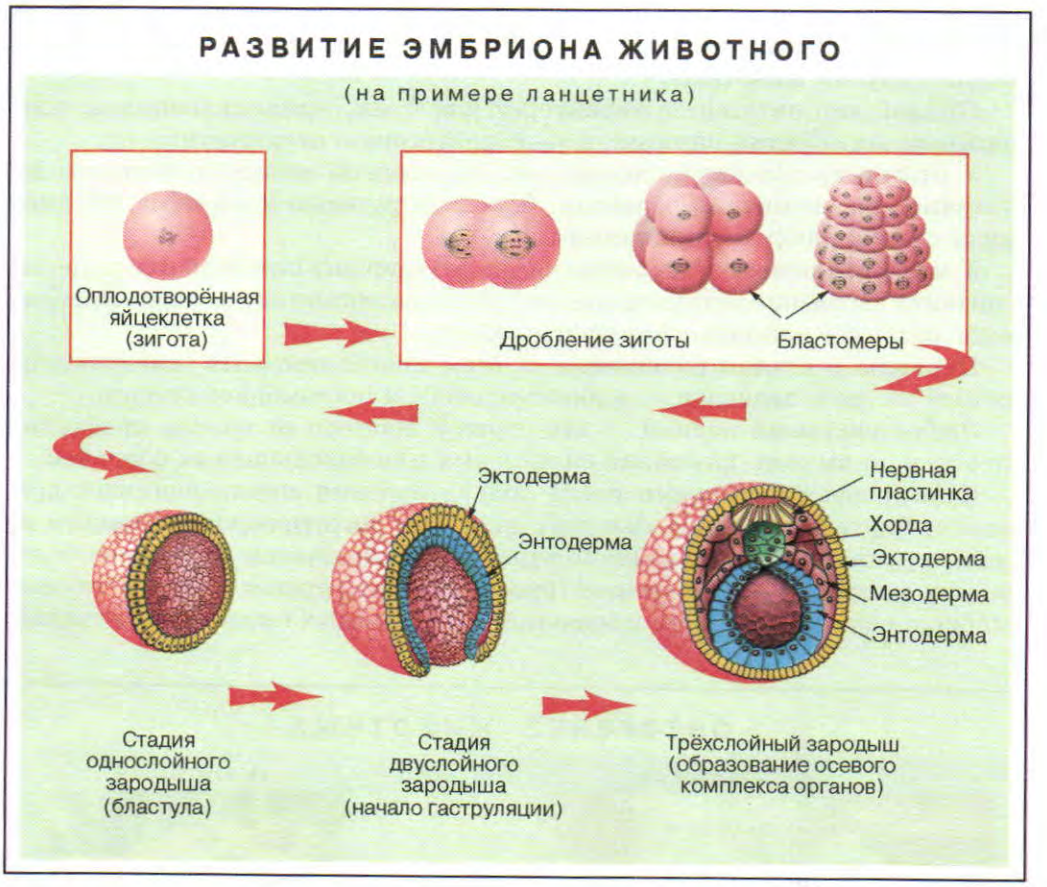


Рис. 37. Эмбриональный период онтогенеза животных (на примере ланцетника)

однослойного, двуслойного, трёхслойного зародыша. Постепенно закладываются ткани, формируются органы и системы органов.

У семенных растений эмбриональным считается период от оплодотворения яйцеклетки до прорастания зародыша.

Постэмбриональный период начинается после рождения либо выхода из яйцевых или зародышевых оболочек. У животных с прямым типом онтогенеза рождается организм, по строению похожий на взрослый. При непрямом развитии из яйца выходит личинка, которая затем претерпевает превращение во взрослую стадию.

Постэмбриональный период онтогенеза также имеет свои стадии: молодости, роста и развития, размножения, старости, которая заканчивается смертью.

У растений, в отличие от большинства животных, формирование органов и тканей осуществляется не только во время развития зародыша, но и на протяжении всего постэмбрионального периода.

Диплоидное и гаплоидное поколения у растений. У ряда организмов, в том числе и растений, в процессе онтогенеза происходит чередование поколений, различающихся типами размножения. У растений выделяют половое (гаплоидное) поколение — гаметофит и бесполое (диплоидное) поколение — спорофит.

? Почему гаметофит считают половым, а спорофит — бесполым поколением?

Стадия гаметофита хорошо развита у мхов и сильно упрощена у папоротников (гаметофит представлен заростком). У голосеменных и цветковых растений в жизненном цикле преобладает спорофит (листостебельное растение), тогда как мужской и женский гаметофиты сильно редуцированы (рис. 38).

Рис. 38. Гаметофит и спорофит в жизненных циклах разных групп растений

Для любознательных

Эмбриональное развитие животных проследим на примере ланцетника.

Зигота последовательно митотически делится, постепенно промежутки между бластомерами в центральной части зародыша расширяются, образуется полость и наступает стадия бластулы (см. рис. 37).

Бластула (от греч. *blastos* — зачаток, росток) — однослойный шаровидный зародыш, внутри которого находится полость. Следующая стадия развития зародыша — *гаструла*. Гаструла (от греч. *gastēr* — желудок) образуется в ходе перемещения части клеток бластулы внутрь. В процессе образования гаструлы — *гаструляции* — у зародыша формируются три слоя клеток: наружный — *эктодерма*, внутренний — *энтодерма* и промежуточный — *мезодерма*. Так полая шаровидная бластула постепенно превращается в трёхслойный зародыш — гаструлу (см. рис. 37).

Эктодерма, энтодерма и мезодерма — три первичных зародышевых листка, из которых в дальнейшем сформируются ткани организма.

Из энтодермы развиваются органы пищеварительной системы, а также трахея и лёгкие. Эктодерма даёт начало покровам, нервной системе и органам чувств. Из мезодермы образуются большая часть мышц и соединительной ткани, сердечно-сосудистая и мочеполовая системы. Процесс формирования органов и систем органов носит название *органогенеза*.

Вопросы и задания

1. Объясните значение термина «онтогенез».
2. Охарактеризуйте типы онтогенеза, которые встречаются у разных групп животных. Сравните их, выявите черты сходства и различия.
3. Представьте возможные аргументы в защиту мнения учёных о том, что онтогенез — генетически запрограммированный процесс.
4. Используя информацию рубрики «Для любознательных» и рис. 37, составьте таблицу «Этапы эмбрионального развития хордовых животных» и заполните её.
5. Используя информацию, которую содержит рис. 38, сравните стадии спорофита и гаметофита у мхов, папоротников и цветковых растений. Какая закономерность прослеживается в чередовании этих стадий у разных групп растений?

§ 22. Организм и среда его обитания

Как организм реагирует на факторы среды?

Условия существования организмов. Совокупность конкретных условий, в которых обитает какая-либо особь, составляет ***среду её обитания***.

Взаимоотношения организмов между собой и окружающей средой изучает наука ***экология*** (от греч. *oikos* — жилище, место обитания, *logos* — учение, наука).

Любой элемент среды, способный оказывать влияние на организм хотя бы на протяжении одной из фаз его индивидуального развития, называют ***экологическим фактором***.

Все экологические факторы очень разнообразны как по своей природе, так и по воздействию на живые организмы. Экологические факторы подразделяют на три большие группы: абиотические, биотические и антропогенные.

Абиотические факторы (от греч. *a* — приставка отрицания, *biotikos* — жизненный, живой) — совокупность физических и химических условий неорганического мира, т. е. факторы неживой природы. К ним относят климатические факторы (влажность, температура воздуха, атмосферное давление), почвенные факторы (механический состав, структура, влажность и аэрация почвы, содержание в ней минеральных солей и гумуса), водные факторы (все физические и химические свойства водной среды), особенности рельефа (высота над уровнем моря, экспозиция и крутизна склонов).

Биотические факторы (от греч. *biotikos* — жизненный, живой) представляют собой многообразные формы влияния организмов друг на друга (например, опыление насекомыми растений, конкуренция между организмами за свет, пространство).

Антропогенный фактор (от греч. *anthrōpos* — человек, *genos* — рождение, происхождение) — деятельность человека, которая изменяет условия обитания живых организмов. В результате производственной деятельности людей меняется рельеф, химический состав земной поверхности, атмосферы, происходит перераспределение пресной воды, что сказывается на климате планеты в целом.

Каждый из экологических факторов действует на организм с определённой *интенсивностью*, или силой воздействия. Так, если комнатное растение поместить на южное окно, то интенсивность освещённости его фотосинтезирующих органов будет гораздо выше, нежели на северной стороне.

Самое благоприятное для жизни значение фактора называют ***оптимальным значением*** или ***оптимумом*** (точка С на рис. 39).

Например, оптимальная температура роста кочанной капусты составляет 15—18 °С. Для паутинного клеща — опасного вредителя культурных растений — оптимальная температура развития 25—30 °С.

Чем ближе значение фактора к оптимальному, тем более благоприятно протекают жизненные процессы в организме. И напротив, чем дальше отклонение значения фактора от точки оптимума, тем более угнетённо чувствует себя организм.

Наконец, существуют минимально и максимально критические значения факторов (А и В на рис. 39), которые в наибольшей степени угнетают жизнедеятельность организма. Например, температурный минимум

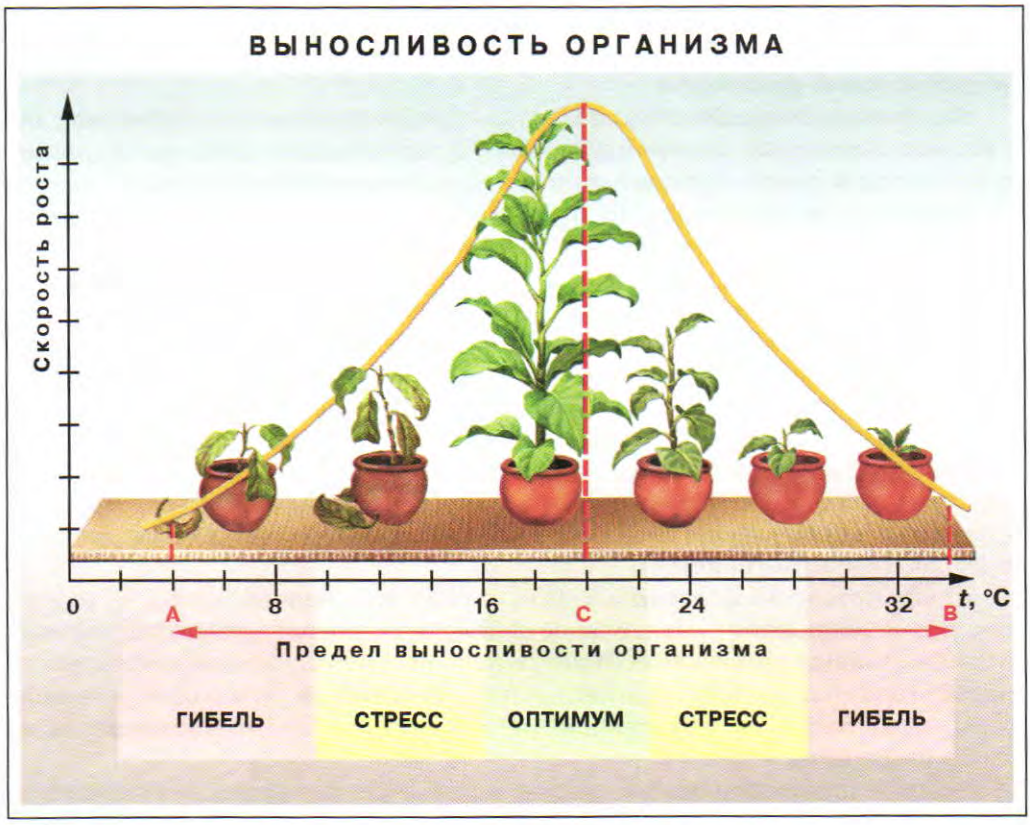


Рис. 39. Зависимость жизненной активности организма от интенсивности действия экологического фактора

прорастания огурца не ниже 13 °C, а максимум — до 50 °C. Более низкая или более высокая температура воздуха действует на процесс прорастания огурца угнетающе.

Границы действия фактора, в пределах которых может существовать организм, называют его ***пределами выносливости***.

Фактор, значение которого близко к критической отметке, препятствует нормальной жизнедеятельности организма, ограничивает её. Такой фактор называют ***ограничивающим***.

Одним из ограничивающих факторов развития насекомых служит температура воздуха. Садоводам известна минимальная температура воздуха, при которой начинается развитие большинства насекомых-вредителей, — это

7—10 °С. В таких условиях они наиболее чувствительны к различным ядовитым веществам. Поэтому в конце апреля — начале мая обязательно проводят мероприятия по ограничению численности насекомых-вредителей.

Биоритмы. Установлено, что такие факторы среды, как освещённость и температура воздуха, зависят от вращения Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца. Чередование приливов и отливов связано с вращением Луны вокруг Земли. Колебания значений этих факторов периодически повторяются в течение суток, года, лунного месяца. Поэтому их и относят к периодическим факторам.

Смена дня и ночи, времён года, приливов и отливов существовала задолго до появления жизни на Земле. Поэтому у первых живых организмов возникли приспособления к суточным, сезонным и лунным ритмам. Приспособления к этим ритмам присущи всем земным обитателям.

Периодические колебания интенсивности и характера биологических процессов называют ***биоритмами***. Биоритмы поддерживаются особым внутренним механизмом, так называемыми *биологическими часами*.

Наиболее выражены у большинства организмов суточные и сезонные ритмы (рис. 40).

Суточные ритмы проявляются в смене периодов активности и покоя в течение суток. Животные, ведущие дневной образ жизни, активны в светлое время суток. Летучие мыши, напротив, покидают убежища в сумерки и сохраняют свой биологический ритм, даже если их содержат в лабораторных условиях при полном освещении.

Смена температуры в течение суток очень важна для растений. Например, томаты лучше развиваются, если дневная температура в среднем равна 26 °С, а ночная — около 18 °С.

Организм человека — не исключение. В настоящее время установлено, что более 300 процессов, протекающих в организме человека, подчинены суточному ритму. Так, печень выделяет наибольшее количество желчи, необходимое для переваривания жиров, в первую половину дня. Поэтому завтрак и обед должны содержать суточную норму этих веществ. Во второй половине дня печень начинает накапливать гликоген и воду. Соответственно, во второй половине дня рекомендуется есть в небольших количествах, пища должна содержать преимущественно углеводы.

Учёными доказано, что у большинства учащихся существуют два пика максимальной работоспособности: между 10—12 и 16—18 часами. Именно в эти периоды при минимальной затрате умственных и физических сил можно выполнить наибольший объём работы.

Полноценный отдых организм получает во время сна. Сон — периодическое выключение организма из активной деятельности.

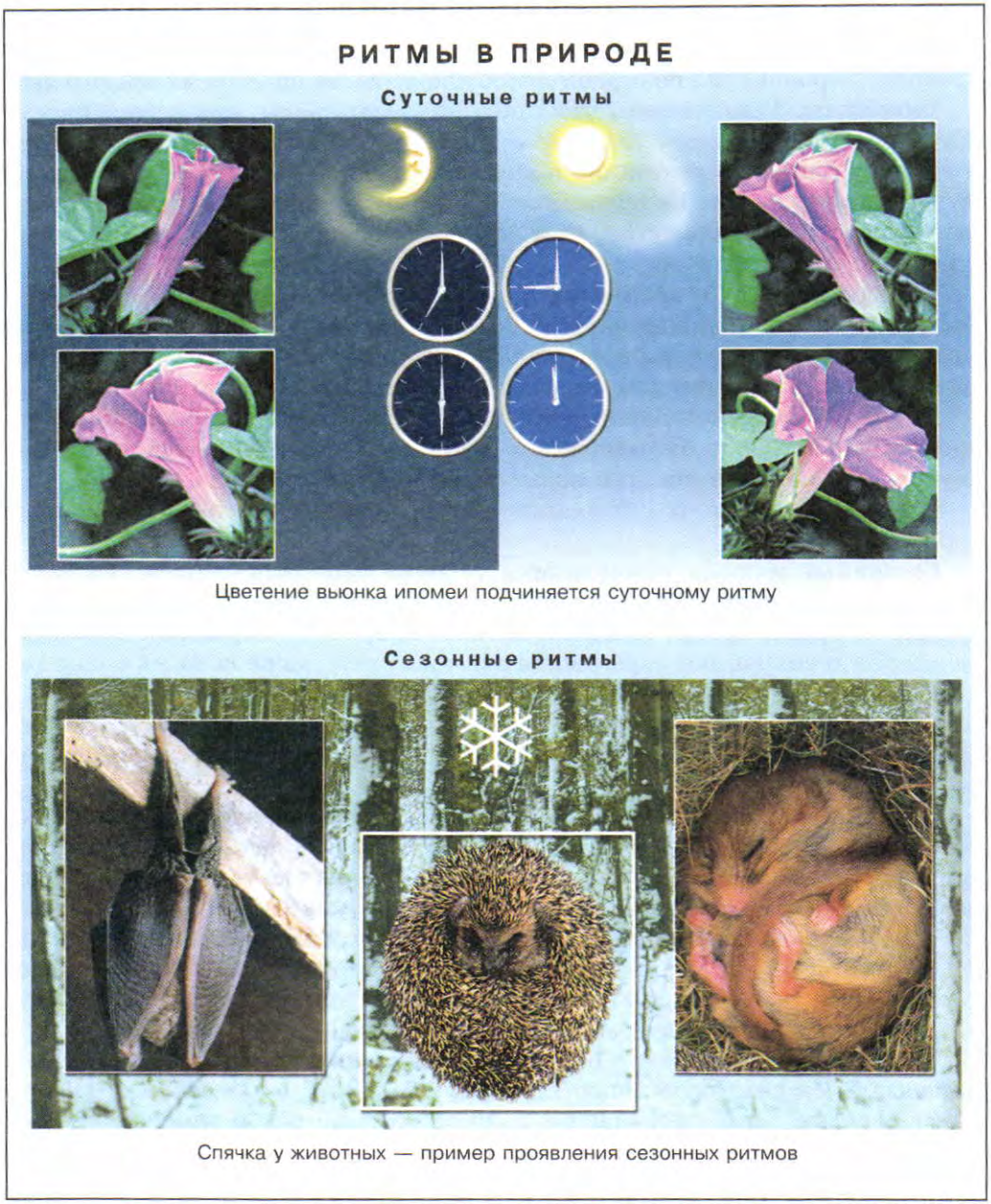


Рис. 40. Суточные и сезонные ритмы в природе

Приведённые примеры показывают, насколько важен определённый ритм при планировании работы в течение суток, соблюдении режима дня.

Сезонные ритмы наиболее ярко выражены у организмов, обитающих в условиях смены холодного и тёплого или сухого и влажного периодов года.

Сигналом о приближении того или иного сезона для организма служит изменение длины дня, которое всегда связано с годовым ходом температуры.

Реакции организма на чередование и продолжительность светлого и тёмного периодов суток называют ***фотопериодизмом.***

На увеличение длины дня организмы реагируют повышением жизненной активности. Весна — период общего пробуждения природы. Во второй половине лета и осенью у растений начинается созревание плодов и семян, идёт усиленный отток питательных веществ из листьев в стебли, корни и другие зимующие органы. Уменьшение длины светового дня служит сигналом для подготовки к зиме. У многих животных начинается линька, формируются стаи перелётных птиц. Определённая реакция на длину дня — это зимняя спячка и миграции у животных.

ПРОВЕДИТЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Выявление факторов, ограничивающих рост и развитие растений

Работу выполняют весной и летом на школьном учебно-опытном участке.

Цель работы — выяснить, как отражается на росте и развитии растений отсутствие одного из необходимых элементов питания.

Для выявления ограничивающего действия фактора (содержания минеральных солей в растворе) на рост и развитие растения поставьте опыт с семенами фасоли. Для этого прорастите семена фасоли в банках с водой до момента, когда корешки семян достигнут длины 8—10 см. К этому времени следует приготовить питательные смеси: полную, содержащую все три элемента питания (контрольный экземпляр), а также смеси, где отсутствует один из элементов (опытные экземпляры): калий, фосфор или азот[1]. Поместите контрольный и опытные проростки в банки с соответствующими растворами и поставьте в хорошо освещённое место. Банки следует обернуть тёмной бумагой, чтобы избежать развития одноклеточных водорослей.

Используя знания о признаках дефицита у растений основных элементов минерального питания, сформулируйте гипотезу о том, как скажется на исследуемых растениях ограничивающее действие азота, фосфора и калия. В ходе наблюдения измеряйте высоту растений, следите за окраской листьев и общим развитием.

Оформите результаты работы в форме презентации и выступите с сообщением на школьной конференции.

[1] Методика приготовления питательных растворов представлена в книге: *Нога Г. С.* Опыты и наблюдения над растениями. — М.: Просвещение, 1979.

КОЛЛЕКТИВНАЯ ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Получение урожая редиса, выращенного при разной длине светового дня

Работу выполняют на школьном учебно-опытном участке.

Цель работы — убедиться, что на рост и развитие некоторых растений влияет продолжительность светлого и тёмного времени суток.

Летом, в июне, посейте семена редиса одного сорта на двух одинаковых делянках. Опытные растения выращивайте при искусственно укороченном дне (не более 12 часов). Для этого вечером в одно и то же время накрывайте посевы тёмным укрывным материалом, не пропускающим свет. Контрольные растения выращивайте при естественном освещении. Агротехника выращивания культуры на обеих делянках должна быть одинаковой.

Наблюдайте за развитием опытных и контрольных растений, отмечайте сроки образования корнеплодов и другие изменения. Полученный урожай взвесьте и сравните качество корнеплодов. Сделайте вывод об оптимальных сроках посева этой культуры в условиях вашей местности.

Отчёт о работе оформите в виде презентации и выступите на школьной конференции.

Вопросы и задания

1. Охарактеризуйте три группы экологических факторов, влияющих на организмы. К каким из этих факторов организмы приспосабливаются труднее? Почему?
2. Используя рис. 39, обоснуйте с научной точки зрения известное выражение «золотая середина» и проиллюстрируйте его примерами из жизни растений или животных.
3. * Приведите примеры экологических факторов, ограничивающих рост и развитие растений, распространение животных по природным зонам.
4. Объясните значение терминов «экологический фактор», «биоритмы», «фотопериодизм».
5. Основываясь на информации из текста параграфа о суточных ритмах, составьте для себя оптимальный режим дня.
6. Используя знания из ранее изученных разделов биологии, назовите общие приспособления, которые выработались у разных групп организмов к перенесению сезона низких температур.
7. Используя ресурсы Интернета (www.elementy.ru, www.ru.wikipedia.org), найдите материал о влиянии фотопериодизма (соотношения продолжительности светлого и тёмного периодов суток) на жизнедеятельность человека.

НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ – ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ОРГАНИЗМОВ

Основные закономерности наследственности и изменчивости ... 106

Генетика и практическая деятельность человека 129

Раздел II

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ И ИЗМЕНЧИВОСТИ

Наследственность и изменчивость являются существенными характеристиками живого. Благодаря наследственности каждый вид животных, растений, грибов или бактерий в ряде сменяющих друг друга поколений сохраняет характерные для него признаки и особенности развития.

Изменчивость в некотором смысле противоположна наследственности: если для наследственности свойственна передача особенностей строения и развития особи в ряду поколений, то изменчивость определяет появление новых признаков и свойств.

Наука, занимающаяся изучением закономерностей наследственности и изменчивости, получила название ***генетика***.

§ 23. Основные понятия генетики

Что представляет собой ген?

Наследственность и изменчивость — фундаментальные свойства организмов. Способность организмов передавать черты строения и функционирования своим потомкам называют ***наследственностью***.

С проявлениями наследственности как свойства организмов вы сталкиваетесь достаточно часто. Так, выбирая породистого щенка, человек старается больше узнать об экстерьере, поведении и других качествах его родителей. А размножая красиво цветущую фиалку, можно быть уверенным, что из листового черенка вырастет именно фиалка, а не другое растение.

Материальной основой наследственности являются гены, находящиеся в ядрах половых и соматических клеток. Гены кодируют белки, а белки — основа свойств и признаков организма.

Совокупность всех генов в организме называют ***генотипом***. Генотип обусловливает внешний облик особи, особенности её строения, развития и жизнедеятельности.

Совокупность всех признаков организма называют ***фенотипом***. Он формируется на основе взаимодействия генотипа и среды.

Для любознательных

В 1909 г. датский генетик В. Иогансен сформулировал важное различие между генотипом и фенотипом. Фенотип организма — сумма внешних признаков особи, тех, которые мы можем наблюдать: морфология, физиология, поведение. Генотип — это генетическая информация, наследуемая от родителей. На протяжении жизни фенотип особи может меняться, генотип же остаётся неизменным.

При бесполом размножении соматические клетки особи делятся митозом и полностью передают свой генотип дочерним клеткам.

При половом размножении в результате слияния гамет мужская и женская половые клетки объединяют свои гены. Благодаря перекомбинации генов зигота имеет новый генотип. Развившаяся из неё особь будет обладать чертами отцовского и материнского организмов. В то же время ей будет присущ свой неповторимый фенотип.

Отличие потомков от родителей обусловлено другим универсальным свойством живых систем — изменчивостью.

Изменчивость — способность организмов приобретать в процессе своего индивидуального развития новые признаки.

Попытки понять природу передачи признаков по наследству предпринимались с глубокой древности. Но лишь в конце XVIII — начале XIX в. учёные близко подошли к пониманию этого вопроса.

Для любознательных

Английский ботаник Т. Э. Найт и француз О. Сажрэ пытались выявить закономерности наследования признаков, применяя метод скрещивания растений. Однако они исходили из неверной посылки — считали, что наследуются признаки (а не гены), которые при скрещивании могут «разбавляться» и даже исчезать.

Зарождение генетики как науки связано с работами Г. Менделя, австрийского натуралиста, который вывел в 1865 г. фундаментальные законы наследования признаков, оценённые по достоинству только после их переоткрытия в 1900 г. сразу тремя исследователями из разных стран. Именно этот год считают датой рождения науки генетики.

Ведущие понятия генетики. Гены, определяющие признаки, расположены в хромосомах линейно и обозначаются латинскими буквами: А, В, С и т. д. (рис. 41).

Место гена в хромосоме называют ***локусом*** (от лат. *locus* — место).

Гомологичные (парные) хромосомы несут множество генов. Так, у томата в каждой хромосоме второй пары расположены гены, отвеча-

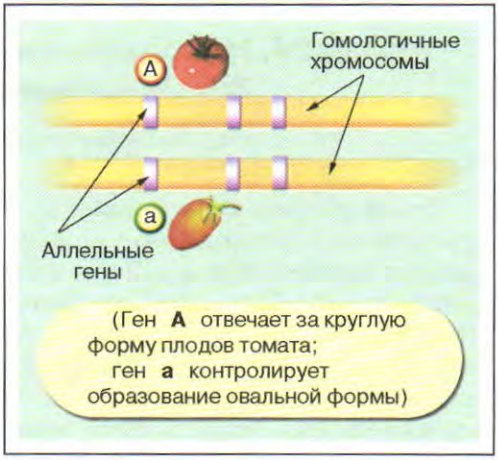


Рис. 41. Гены в хромосоме расположены линейно

ющие за форму плода, высоту растения, устойчивость к поражению листьев болезнью.

Гены, отвечающие за развитие одного признака и расположенные в одних и тех же локусах гомологичных хромосом, называют ***аллельными*** (от греч. *allēlōn* — друг друга, взаимно) (см. рис. 41). Например, ген, отвечающий за конфигурацию плода томата, может иметь несколько форм — ***аллелей***. Один аллель гена (А) обеспечивает проявление в фенотипе томата круглого плода, второй аллель (а) отвечает за формирование овального плода. Как видим, признак один, а проявления его разные, так как за них отвечают разные аллели гена (разные аллельные гены).

Организм, возникший от слияния гамет, несущих одинаковые аллели гена, например АА или аа, называют ***гомозиготным*** (от греч. *homos* — одинаковый).

Гетерозиготным (от греч. *heteros* — другой) называют организм, возникший от слияния гамет, несущих различные аллельные гены (Аа).

Вопросы и задания

1. Охарактеризуйте такие свойства организма, как наследственность и изменчивость.
2. Объясните значение терминов «генотип», «фенотип», «локус», «гомологичные хромосомы», «аллельные гены».
3. Сравните генотип гомозиготного и гетерозиготного организмов. В чём заключается их принципиальное отличие?
4.* Назовите области знаний, где используются сведения, полученные учёными при изучении законов наследственности и изменчивости.

§ 24. Моногибридное скрещивание. Закон доминирования

Какие методы биологического исследования лежат в основе изучения живых систем?

Гибридологический анализ. Г. Мендель около восьми лет ставил эксперименты с растениями в саду монастыря, расположенного в г. Брно (ныне в составе Чехии). В отличие от своих предшественников исследователь исходил из идеи дискретности (делимости) наследственности. Он предполагал, что по наследству передаётся не совокупность признаков, а материальные единицы, определяющие развитие отдельных признаков. Такие материальные единицы Г. Мендель назвал ***наследственными факторами***. Теперь их называют генами.

До Менделя многие учёные пытались понять, как наследуются биологические признаки. Они скрещивали растения или животных и наблюдали сходство между родителями и потомством. Результаты были обескуражи-

вающими: одни признаки могли быть общими у потомка с одним родителем, другие — с другим, третьи — с обоими родителями.

Грегор Иоганн Мендель
(1822—1884)

Г. Мендель по-новому приступил к опытам по наследованию признаков. Во-первых, он учёл ошибки предшественников и пришёл к выводу, что нужно концентрировать внимание лишь на одном признаке (например, на форме семян), а не на растении в целом. С этой целью Мендель сосредоточил внимание на отдельных взаимоисключающих, т. е. ***альтернативных***, признаках, например на красной и белой окраске цветков, жёлтой и зелёной окраске семян у гороха (рис. 42).

Во-вторых, он удачно выбрал объект исследования: горох — самоопыляющееся растение, имеющее набор хорошо выраженных альтернативных признаков и дающее многочисленное потомство, что также необходимо для анализа.

В-третьих, Г. Мендель проводил строгий учёт потомков, полученных в результате определённого типа скрещивания, что позволило ему выявить, с какой частотой появляются носители взаимоисключающих признаков.

Разработанный Г. Менделем ***гибридологический анализ***, т. е. анализ характера наследования признака на основе системы скрещиваний, стал основным методом изучения генетики. Г. Мендель сформулировал правила, которым следуют все генетики.

- Скрещиваемые организмы должны принадлежать к одному виду.
- Скрещиваемые организмы должны чётко различаться по отдельным признакам.
- Изучаемые признаки должны быть постоянными — прослеживаться в ряду поколений.
- Необходим количественный учёт всех полученных результатов скрещивания.

Моногибридное скрещивание. Закон доминирования. Скрещивание организмов, отличающихся лишь одной парой альтернативных признаков, называют ***моногибридным***.

В одном из опытов Г. Мендель прослеживал наследование окраски семян у гороха. В качестве родительских форм были выбраны гомозиготные растения с признаками жёлтой и зелёной окраски семян. Для этого учёный в течение двух лет разводил множество различных разновидностей гороха, чтобы отобрать для своих опытов только те линии, в которых данный признак воспроизводился в потомстве из поколения в поколение.

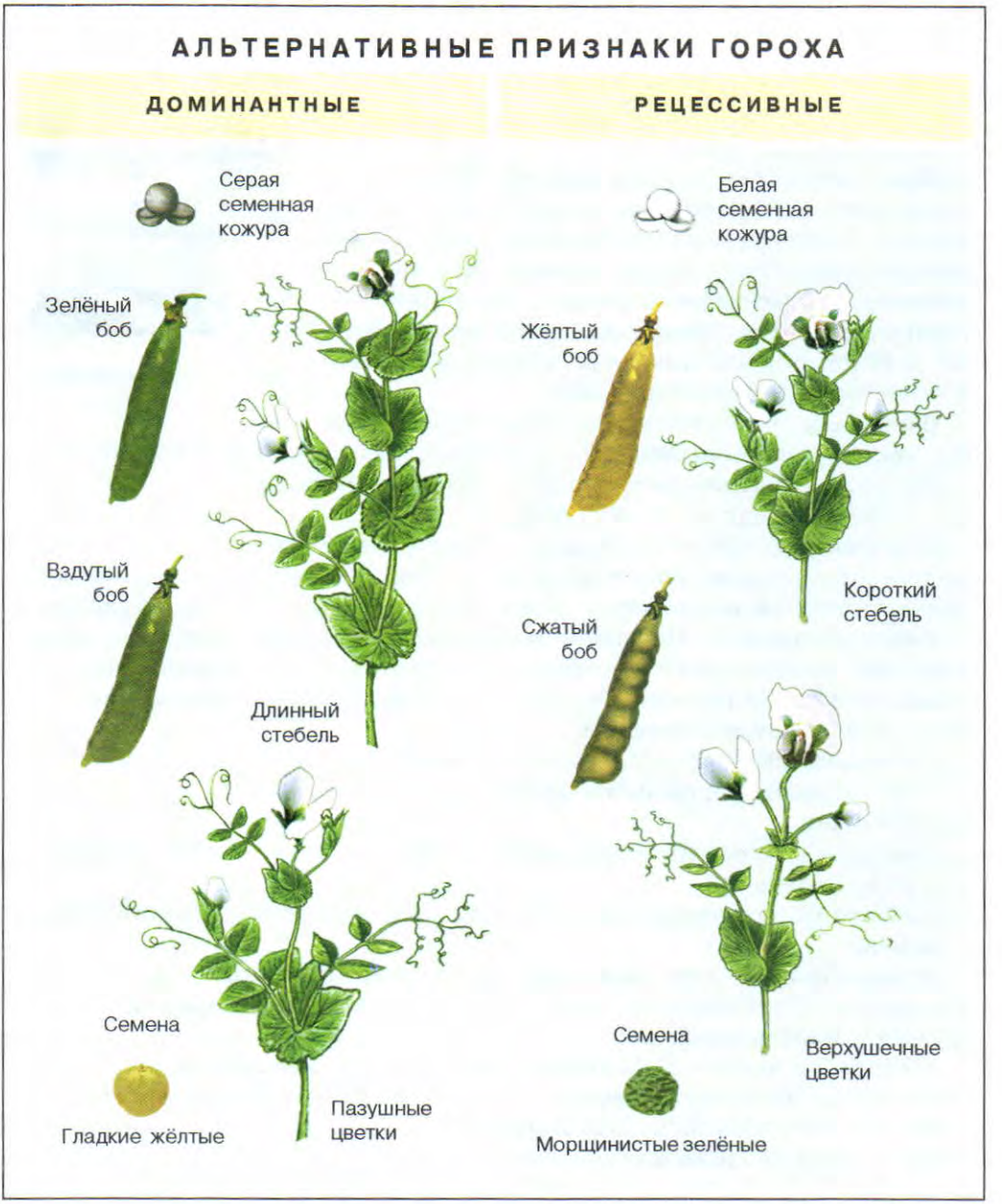


Рис. 42. Признаки гороха, наследование которых изучал Г. Мендель

Позднее, в 1903 г., В. Иогансен ввёл термин ***чистые линии***, обозначающий генотипически однородное потомство, получаемое отбором от одной самоопыляющейся особи.

Несмотря на то что горох — самоопыляющееся растение, можно легко произвести перекрёстное опыление. Г. Мендель раскрывал бутоны цветков и удалял тычинки с ещё не созревшей пыльцой, а затем опылял этот цветок пыльцой другой особи гороха. Переопылив два растения с признаками жёлтой и зелёной окраски семян, учёный получил гибридные семена *первого поколения* (F_1). Все они оказались жёлтыми, т. е. проявился только один признак (рис. 43).

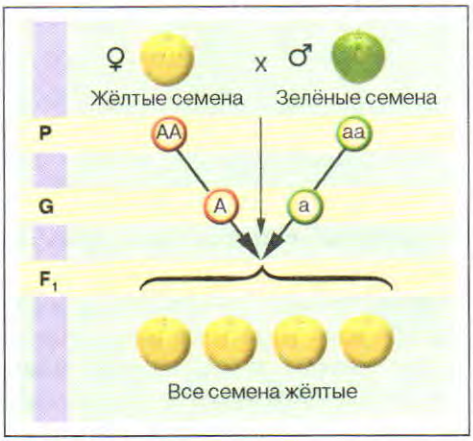


Рис. 43. Наследование признаков при моногибридном скрещивании. Единообразие гибридов первого поколения

Мендель обнаружил, что подобным образом ведут себя все признаки, отобранные им для исследования. В каждом случае у растений первого гибридного поколения проявляется лишь один из взаимоисключающих признаков. Такие признаки получили название ***доминантных*** (от лат. *dominantis* — господствующий). Например, при скрещивании растений гороха с красными и белыми цветками в первом поколении гибридов всегда доминировала красная окраска цветков. Подавляемые признаки Мендель назвал ***рецессивными*** (от лат. *recessus* — отступление). Явление подавления одного признака другим (альтернативным) Мендель назвал *доминированием*.

Закон доминирования гласит: при скрещивании двух чистых линий в первом поколении у всех потомков будет проявляться лишь один из двух взаимоисключающих признаков.

Для записи результатов своих опытов Мендель создал символику, которая стала общепризнанной:

P — родительские организмы (♀ — знак женского пола — зеркало Венеры, ♂ — знак мужской особи — щит и меч Марса);

× — значок скрещивания;

G — гаметы, образующиеся у родителей;

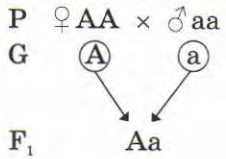
F_1 — потомство родителей, гибриды первого поколения;

F_2 — гибриды второго поколения;

A, B, C — гены (аллели), обусловливающие доминантные признаки;

a, b, c — гены (аллели), обусловливающие рецессивные признаки.

Схематично опыт Г. Менделя можно записать следующим образом:

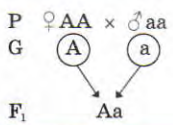


Неполное доминирование. При скрещивании крупнолистного гороха с мелколистным Г. Мендель столкнулся с тем, что гибриды первого поколения имели листья средней величины. В случае, если доминантный ген не полностью подавляет рецессивный и оба аллеля проявляют своё действие, имеет место так называемое ***неполное доминирование***.

Позже выяснилось, что неполное доминирование, или промежуточное проявление признака, встречается довольно часто. Так наследуется окраска оперения кур (рис. 44), шерсти овец и крупного рогатого скота.

Для любознательных

Неполное доминирование проявляется и в наследовании окраски венчика цветков львиного зева (рис. 44). Красная окраска венчика (аллельный ген А) доминирует над белой (а). При скрещивании гомозиготных растений с красными и белыми цветками все гибриды первого поколения будут иметь цветки розового цвета:



В случае неполного доминирования все гибридные растения первого поколения характеризуются одинаковым проявлением исследуемого признака. Поэтому закон доминирования ещё называют ***законом единообразия гибридов первого поколения***.

Вопросы и задания

1. Объясните, почему в ряде случаев ни один из аллельных генов не проявляет своего действия в фенотипе.
2. Объясните, почему в опытах Г. Менделя по скрещиванию растений гороха все гибриды первого поколения имели жёлтые семена, т. е. были единообразными.
3.* Докажите, что Г. Мендель вывел закономерности наследования признаков, активно применяя как эмпирические, так и теоретические методы исследования. Назовите и охарактеризуйте эти методы.
4. Сравните правую и левую части рис. 44. Какие общие закономерности наблюдаются при наследовании окраски цветков львиного зева и оперения андалузских кур? Имеет ли место в этом случае закон доминирования?

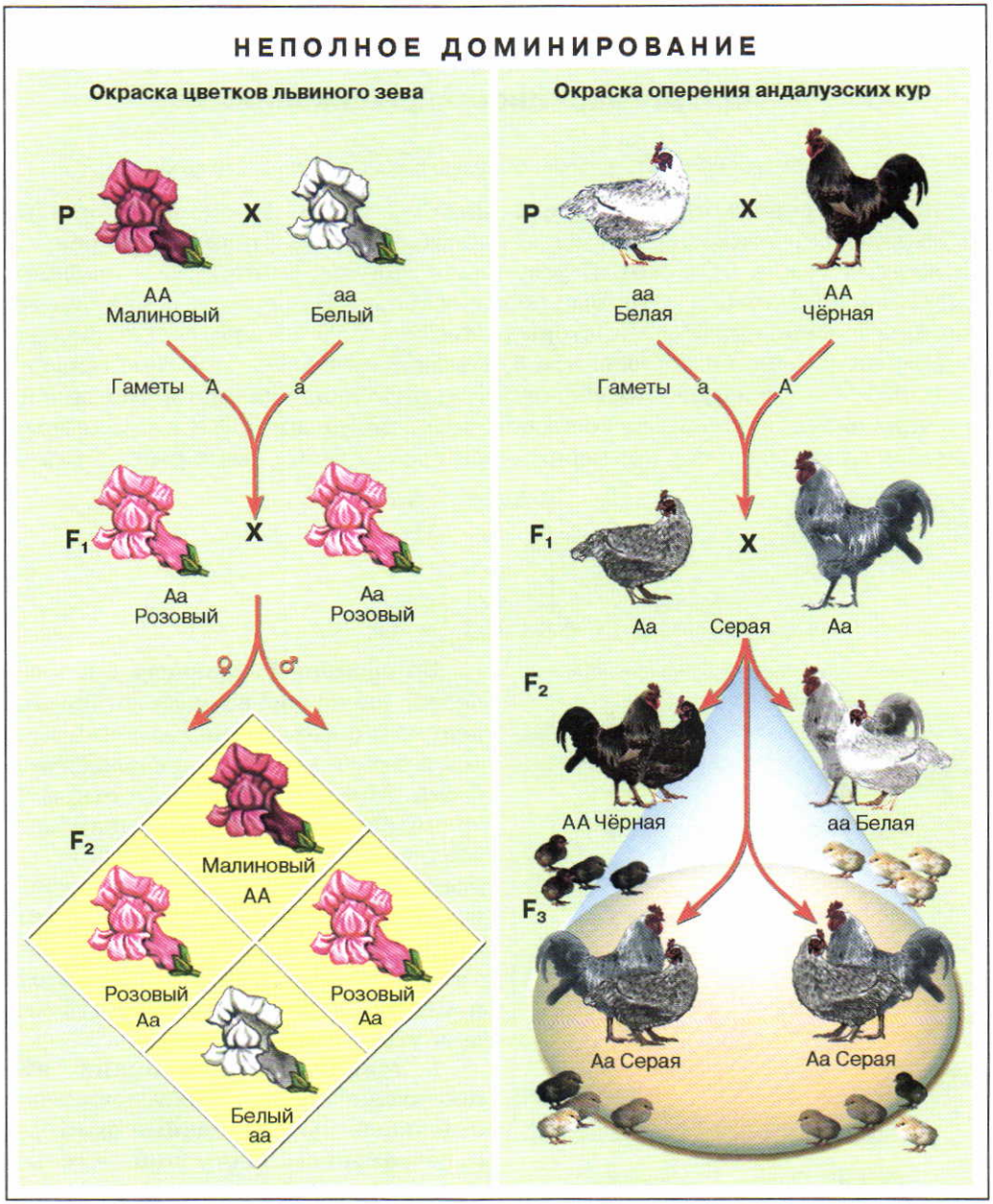
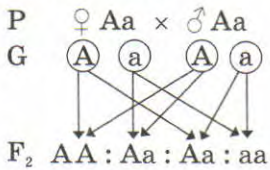


Рис. 44. Неполное доминирование окраски цветков львиного зева и оперения андалузских кур

§ 25. Закон расщепления. Независимое наследование признаков при дигибридном скрещивании

В чём особенность клеток, образующихся в результате мейоза?

Закон расщепления. Гипотеза чистоты гамет. Продолжая опыты, Г. Мендель скрестил гибриды первого поколения — растения, выращенные из жёлтых семян (рис. 45). В результате получил потомство — *гибриды второго поколения* (F_2). Итог был поразительным! Во-первых, появились горошины зелёной окраски. Во-вторых, Мендель подсчитал отдельно жёлтые и зелёные семена. Оказалось, что 3/4 всех семян имеют жёлтую окраску и лишь 1/4 — зелёную. Подобные результаты наблюдались и при других скрещиваниях: каждый раз во втором поколении растений с доминантным признаком оказывалось примерно в три раза больше, чем с рецессивным:



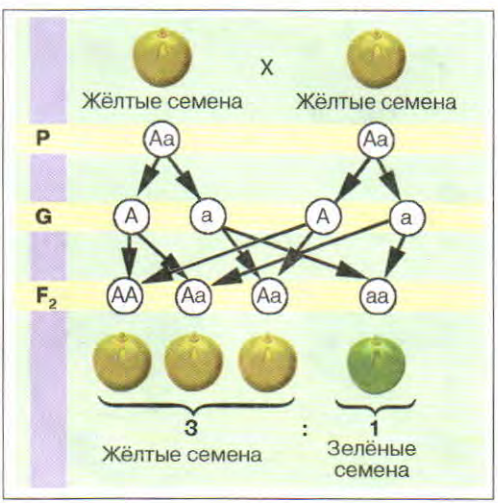


Рис. 45. Опыты Г. Менделя по скрещиванию гибридов первого поколения

Во времена Г. Менделя биологическая наука ещё не располагала сведениями о механизмах деления клеток и о роли хромосом в наследственности. Митоз и мейоз были открыты значительно позднее. Научная прозорливость Г. Менделя позволила ему опередить своё время: для объяснения результатов опытов по наследованию признаков он предложил ***гипотезу чистоты гамет***. Открытия митоза и мейоза подтвердили верность выдвинутой гипотезы.

Г. Мендель предположил, что проявление признаков обусловливают отдельные наследственные факторы (в современном понимании — гены), передающиеся от родителей потомкам с гаметами. Каждый фактор (ген)

может существовать в двух взаимоисключающих формах — аллелях. Один аллель (аллельный ген) гибриды получают от отца, другой — от матери. Таким образом, в каждом растении гороха есть два аллельных гена, влияющих на окраску семян.

Для любознательных

В гаметы попадает лишь один из аллельных генов, иначе говоря, гаметы чисты, содержат по одному аллелю из данной пары.

Используя знания о гаметогенезе, редукционном делении и оплодотворении, вы можете подтвердить это правило. Мейоз — один из заключительных этапов формирования гамет. В результате мейоза образуются гаплоидные гаметы. При этом лишь одна хромосома из каждой пары попадает в половую клетку, а значит, и всего один из аллельных генов. После оплодотворения в зиготе находятся два аллельных гена.

Теперь, когда вы знаете, что собой представляют гомозиготные и гетерозиготные организмы, вам станет понятной работа Г. Менделя. Так, чистые линии, которые скрещивал Г. Мендель, были гомозиготными организмами по гену окраски семян. Гомозиготные организмы содержат два одинаковых аллельных гена. Гибриды F_1 от скрещивания двух гомозиготных растений гороха с жёлтыми (АА) и зелёными (аа) семенами оказались гетерозиготными, т. е. содержали по одному аллелю от каждой пары (Аа).

Единообразие гибридов первого поколения привело Менделя к заключению, что у гетерозиготных особей один аллель доминантен, а другой рецессивен.

Из того факта, что среди гибридов F_2 появились особи как с жёлтой, так и с зелёной окраской горошин, Г. Мендель сделал вывод, что наследственные факторы, определяющие альтернативные проявления признака, никоим образом не смешиваются друг с другом, а остаются раздельными и при формировании половых клеток расходятся в разные гаметы. Это явление получило название ***закона расщепления***.

При полном доминировании соотношение гибридов F_2 с разными вариантами признака окраски семян составляет 3 : 1, где 3/4 растений имеют жёлтую, а 1/4 — зелёную окраску горошин.

Дигибридное скрещивание. Продолжая серию опытов по скрещиванию растений гороха, Г. Мендель отобрал линии гороха, отличающиеся двумя парами альтернативных признаков: окраской семян (жёлтой или зелёной) и их формой (гладкой или морщинистой). При этом гладкая форма семян доминировала над морщинистой (рис. 46). В одном из опытов растения с жёлтыми гладкими семенами Мендель скрещивал с растениями, семена которых были зелёными и морщинистыми.

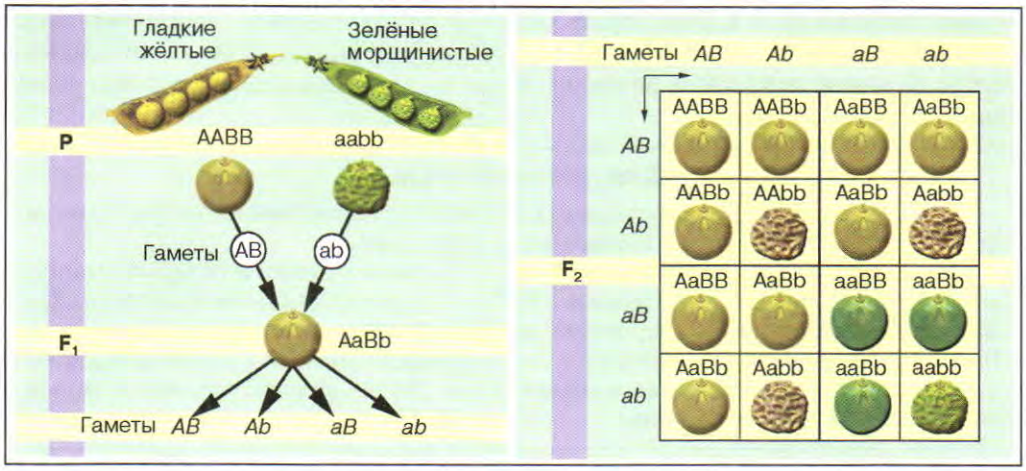


Рис. 46. Наследование окраски и формы семян гороха при дигибридном скрещивании

Скрещивание организмов, отличающихся по двум парам альтернативных признаков, носит название ***дигибридного скрещивания***.

Гибриды первого поколения оказались одинаковыми: с жёлтыми и гладкими семенами, т. е. проявился закон доминирования. Следует заметить, что всё потомство несло признак одного из родителей. Продолжив опыт, Г. Мендель переопылил гибриды первого поколения, т. е. растения, выросшие из жёлтых гладких семян. Поразительно, что во втором поколении экспериментатор обнаружил семена уже четырёх различных фенотипов.

Два из них повторяли родительские формы (жёлтые гладкие и зелёные морщинистые). Однако часть семян отличалась сочетаниями признаков от исходных родителей. Встречались как жёлтые морщинистые, так и зелёные гладкие семена.

Проведя несложные математические расчёты, Г. Мендель справедливо предположил, что наследственные факторы, определяющие окраску и форму семян, наследуются независимо друг от друга и комбинируются во всевозможных сочетаниях. Этот вывод известен в биологии как ***закон независимого наследования признаков***.

Закон независимого наследования признаков можно сформулировать следующим образом: гены, определяющие различные признаки, ведут себя независимо и комбинируются друг с другом во всех возможных сочетаниях. Этот закон справедлив для генов, находящихся в разных па́рах гомологичных хромосом. Признаки, определяемые генами, которые расположены в разных парах гомологичных хромосом, наследуются независимо друг от друга.

Для любознательных

Для записи дигибридного скрещивания используем генетическую символику: буквой A (a) обозначим гены, отвечающие за окраску семян гороха, B (b) — гены, контролирующие признак формы семян. Схема дигибридного скрещивания двух растений с жёлтыми гладкими и зелёными морщинистыми семенами будет следующей:

P ♀ AABB × ♂ aabb
G (AB) (ab)
F_1 AaBb

Известно, что лишь одна хромосома из пары попадает в гамету. У особи с генотипом AABB в гаметах окажутся из одной пары хромосома с геном A, из другой — с геном B. В результате образуется тип гамет, который обозначается AB. Аналогично образуются и гаметы от второго растения (рис. 46). Поэтому все потомки от скрещивания чистых линий согласно правилу единообразия гибридов первого поколения имеют один и тот же генотип и фенотип.

Продолжив опыты по дигибридному скрещиванию, Г. Мендель переопылил гибриды первого поколения (F_1):

P ♀ AaBb × ♂AaBb
G (AB)(aB)(Ab)(ab) (AB)(aB)(Ab)(ab)

Из каждой пары в гамету может попасть лишь одна хромосома. Хромосомы в процессе мейоза расходятся к полюсам случайно, и поэтому гены, отвечающие за признаки, могут комбинироваться в четырёх вариантах. Генотипы родителей одинаковы, поэтому и в одном и в другом случае образуются четыре типа гамет: AB, aB, Ab, ab. Чтобы проследить все возможные комбинации генов при оплодотворении, применим таблицу: расположим женские гаметы по горизонтали, а мужские — по вертикали.

В клетки вписывают генотипы зигот F_2, образовавшихся при слиянии гамет (рис. 46). Благодаря такой форме записи легко проследить все возможные сочетания мужских и женских гамет при оплодотворении. Всего возможных сочетаний 16.

У гибридов второго поколения Г. Мендель получил семена четырёх разных фенотипов: жёлтые гладкие (их 9/16), жёлтые морщинистые (их 3/16), зелёные гладкие (3/16), зелёные морщинистые (1/16).

Расщепление F_2 при дигибридном скрещивании оказалось 9 : 3 : 3 : 1. Отметим, что растения с зелёными гладкими и жёлтыми морщинистыми семенами — новые комбинации признаков, которые не встречались среди родительских форм.

Г. Мендель пришёл к выводу, что наследственные факторы, определяющие различные признаки, передаются от родителей потомкам независимо.

Вопросы и задания

1. Охарактеризуйте результаты опытов Г. Менделя по скрещиванию гибридов первого поколения. Какое объяснение результатам своих опытов предложил сам Г. Мендель?
2. Объясните, в чём особенность дигибридного скрещивания. Какие результаты опытов по дигибридному скрещиванию позволили Г. Менделю предположить, что признаки окраски и формы наследуются независимо друг от друга?
3. Используя рис. 43, 45 и 46, сравните наследование признаков у гибридов первого и второго поколений при моногибридном и дигибридном скрещивании. Выявите черты сходства и различия.
4. Пользуясь схемой скрещивания на рис. 46 и материалом рубрики «Для любознательных», решите задачу. Известно, что карий цвет глаз (А) и тёмные волосы (В) — доминантные признаки. Кареглазый брюнет, гетерозиготный по обоим признакам, женился на голубоглазой блондинке. Определите генотипы родителей, а также возможные генотипы и фенотипы детей у этой пары.

§ 26. Хромосомная теория наследственности. Хромосомное определение пола организмов

?

Всегда ли признаки наследуются независимо друг от друга?

Хромосомная теория наследственности. В начале XX в. английские генетики У. Бэтсон и Р. Пеннет, изучая закономерности наследования окраски венчика и формы пыльцы у душистого горошка, столкнулись с проблемой: эти два признака из поколения в поколение наследовались вместе. Постепенно факты исключений из закона независимого наследования Менделя накапливались. Оказалось, что далеко не все признаки наследуются независимо.

Томас Хант Морган
(1866—1945)

Ещё в середине XIX в. английский учёный Ч. Дарвин, анализируя признаки домашних животных, отмечал ряд случаев, когда по наследству передавались сразу пары признаков: например, у кур форма гребня соответствовала определённой форме черепа, белые отметины на ногах у лошади наследовались вместе с белой «звездой» на лбу. Но объяснения этому Дарвин дать не мог.

В 1902 г. два исследователя — В. Сеттон в США и Т. Бовери в Германии — независимо друг от друга предположили, что гены расположены в хромосомах. Эта идея положила начало ***хромосомной теории наследственности***.

Американский учёный Т. Морган, изучая явление наследственности, в качестве объекта исследо-

вания выбрал плодовую мушку-дрозофилу (рис. 47).

Выбор оказался удачным. Во-первых, дрозофила имеет короткий период развития (10—12 суток). Во-вторых, она очень плодовита, её легко разводить в пробирках на дешёвой питательной среде. В-третьих, эта мушка имеет всего восемь хромосом ($2n = 8$).

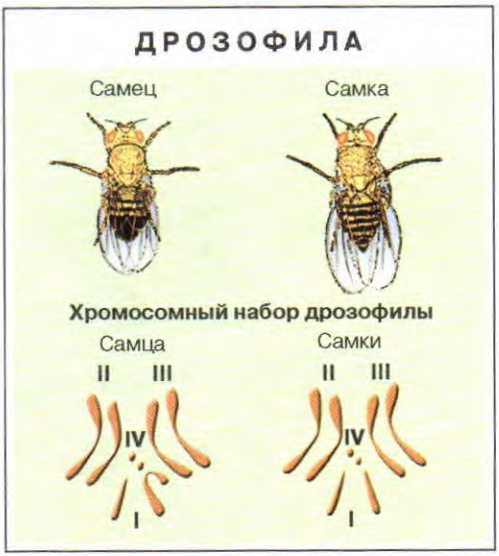


Рис. 47. Объект исследования генетиков — дрозофила (увеличено)

Т. Морган проанализировал большое число признаков у дрозофилы: окраску и форму тела, длину крыльев, цвет глаз и множество других. Оказалось, что число признаков гораздо больше числа хромосом. Кроме того, многие признаки наследовались совместно, в паре, например окраска тела и длина крыльев.

Т. Морган сделал гениальный и простой вывод: причина совместного наследования признаков в том, что гены, их определяющие, расположены в одной хромосоме. Таким образом он подтвердил идею, высказанную ранее В. Сеттоном и Т. Бовери о том, что хромосомы являются носителями генов. Гены расположены в хромосоме линейно.

Это открытие Т. Моргана имеет большое практическое значение, т. к. позволяет создать ***генетические карты хромосом*** организмов разных видов (рис. 48), в том числе и человека.

Генетические карты чрезвычайно важны для выведения новых пород животных и сортов растений, профилактики наследственных заболеваний.

Аутосомы и половые хромосомы. Впоследствии учёными-генетиками было сделано ещё одно важное открытие. Изучение клеток дрозофилы показало, что среди её четырёх пар хромосом три пары встречаются и у самок и у самцов. Такие одинаковые по форме и строению хромосомы назвали ***аутосомами*** (от греч. *autos* — сам, *soma* — тело).

Четвёртая пара хромосом у самок и самцов различается. У женской особи она представлена двумя одинаковыми хромосомами, их назвали *X-хромосомами*. У самца четвёртая пара состоит из разных по форме и величине хромосом: одна из них — *X-хромосома*, а другая, значительно меньшая, — *Y-хромосома*.

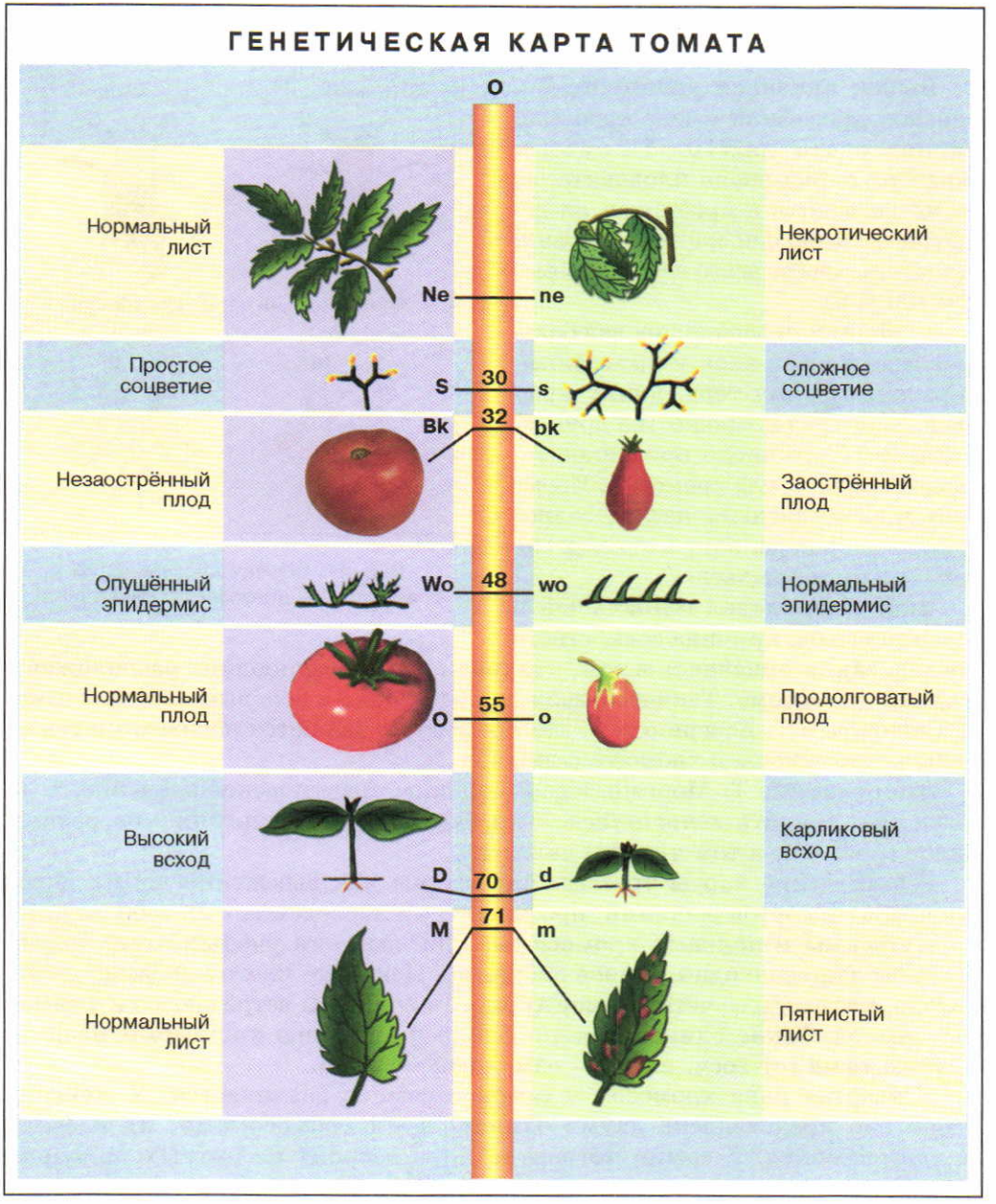


Рис. 48. Участок генетической карты хромосомы томата

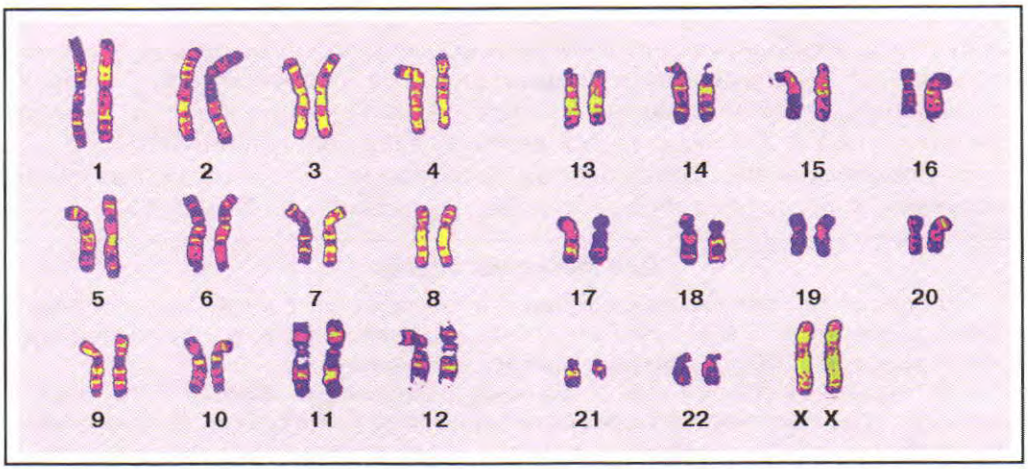


Рис. 49. Нормальный хромосомный набор человека (женщины)

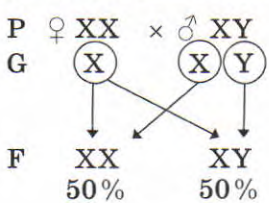
Хромосомы, по которым можно отличить друг от друга особей разных полов у раздельнополых организмов, называют ***половыми хромосомами***.

У млекопитающих, в том числе и у человека, а также у мух, комаров, жуков, клопов женские особи имеют по две одинаковые половые X-хромосомы. Пол женской особи обозначают XX и называют *гомогаметным* (рис. 49). Пол мужской особи является *гетерогаметным* и обозначается XY.

У птиц, пресмыкающихся, некоторых амфибий, напротив, гетерогаметен женский пол (XY), а мужской представлен двумя одинаковыми хромосомами (XX).

Хромосомное определение пола у человека. Принадлежность к определённому полу — важная особенность фенотипа особи. Известно, что особей мужского и женского пола у человека рождается примерно одинаково — 51 и 49 % (соотношение полов 1:1).

Чтобы ответить на вопрос, в чём причина равновероятного появления в потомстве сыновей и дочерей, обратимся к схеме, которая иллюстрирует распределение половых хромосом в гаметах и сочетание их при оплодотворении:



При образовании женских гамет все они будут содержать по X-хромосоме (один тип гамет). В организме мужчины формируются два типа гамет: сперматозоиды с X-хромосомой и сперматозоиды с Y-хромосомой. Любой из них с равной вероятностью может оплодотворить яйцеклетку. Из зиготы с генотипом 44 + XX развивается девочка, если генотип зиготы 44 + XY, то рождается мальчик. Для удобства обозначения пола аутосомы из схемы исключают и оставляют лишь половые хромосомы — XX или XY.

Для любознательных

Половые хромосомы, так же как и аутосомы, несут в себе гены, отвечающие за ряд признаков. Признаки, обусловленные генами, расположенными в половых хромосомах, называют *сцепленными с полом*.

Размеры X- и Y-хромосом у человека неодинаковы. Многие гены, сцепленные с X-хромосомой, в Y-хромосоме отсутствуют. Например, X-хромосома содержит ряд генов, рецессивные аллели которых определяют развитие наследственных аномалий, например дальтонизм (нарушение цветового зрения), гемофилию (болезнь, выражающуюся в нарушении свёртываемости крови). Гены, локализованные в X-хромосоме, передаются как дочерям, так и сыновьям.

В качестве примера рассмотрим ген, отвечающий за свёртываемость крови. Буквой H обозначим доминантный ген, отвечающий за нормальную свёртываемость крови, буквой h — рецессивный ген, вызывающий нарушение свёртываемости крови (гемофилию).

Для обозначения генов, сцепленных с половыми хромосомами, существует особая форма записи: $X^H X^h$ — женщина, гетерозиготная по гену нормальной свёртываемости крови. Она не больна гемофилией, так как имеет нормальный доминантный ген, подавляющий действие гена гемофилии. Однако она является носителем гена гемофилии и может передать его своим детям. Предположим, что эта женщина вступила в брак со здоровым мужчиной. Из рис. 50 видно, что половина девочек и половина мальчиков родятся абсолютно здоровыми. 50 % девочек, гетерозиготных по гену свёртываемости крови, окажутся носителями гена гемофилии, а 25 % детей (исключительно мальчики) будут больны. Ген гемофилии, хотя и рецессивный, проявится в фенотипе у мальчиков, так как вторая X-хромосома с доминантным аллелем отсутствует.

Если ген находится в Y-хромосоме, то признак, им контролируемый, передаётся лишь по мужской линии — от отца к сыну.

В настоящее время учёные-генетики пытаются решить проблему *предопределения пола* будущего потомства. Это особенно важно для различных сфер животноводства. Так, в мясном животноводстве предпочтительнее бычки: они быстрее растут и дают больше мяса. В молочном же стаде бычки в большом количестве не нужны. Следовательно, чем выше процент тёлочек в молочном стаде, тем экономически выгоднее его содержание.

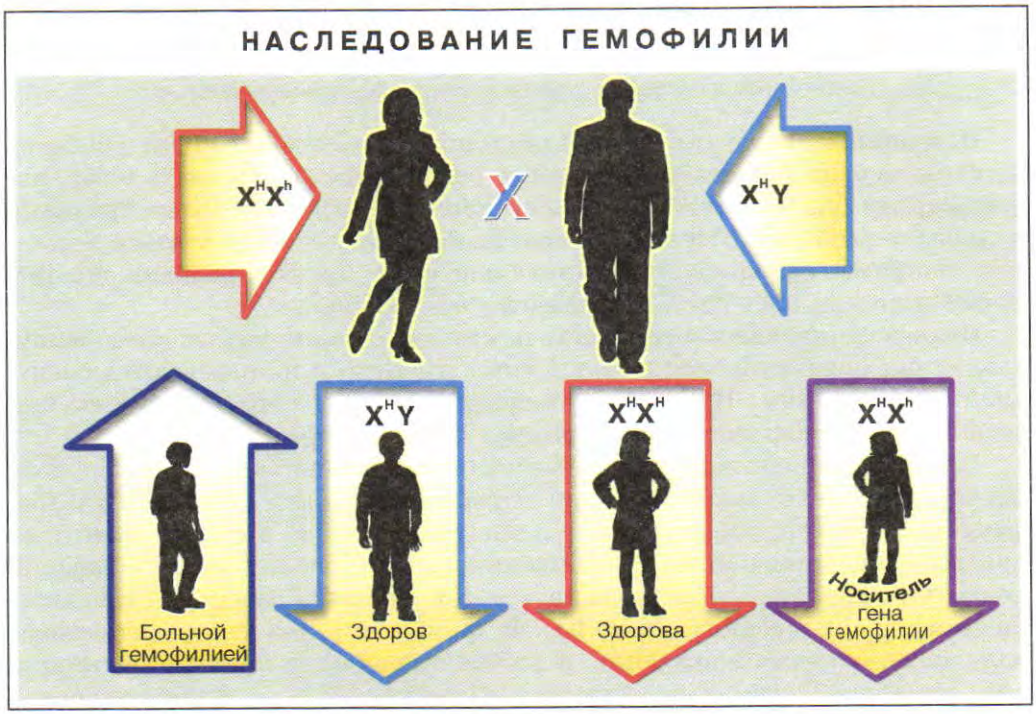


Рис. 50. Наследование гена гемофилии, локализованного в X-хромосоме

Вопросы и задания

1. Объясните, каким образом Т. Моргану удалось подтвердить идею, высказанную ранее В. Сеттоном и Т. Бовери о том, что гены расположены в хромосомах.
2. Известно, что гены, расположенные в одной хромосоме, называют группой сцепления. Выявите связь между числом групп сцепления и числом пар гомологичных хромосом у организма.
3. Раскройте значение терминов «аутосомы», «половые хромосомы», «гомогаметный пол», «гетерогаметный пол».
4. Охарактеризуйте генетические особенности, определяющие принадлежность индивида к тому или иному полу.
5. Используя рис. 50 и материал рубрики «Для любознательных», вычислите генотипы родителей, от брака которых могла родиться девочка, больная гемофилией.
6. Используя дополнительную литературу и возможности Интернета (www.elementy.ru, www.ru.wikipedia.org), подберите материал о генетических картах хромосом и докажите практическую значимость открытий Т. Моргана.

§ 27. Формы изменчивости организмов

Какое свойство живых организмов называют изменчивостью?

Изменчивость организмов. Изменчивость — это всеобщее свойство живого, выражающееся в способности организма существовать в различных формах (вариантах). Так, наш организм приобретает новые признаки в процессе развития. Нередко они могут периодически появляться и исчезать, например избыточная масса тела или загар. Другие признаки, скажем форма носа или цвет глаз, сохраняются всю жизнь.

Ненаследственная изменчивость не связана с генетическим материалом, изменения признаков затрагивают лишь фенотип и не передаются следующим поколениям. Изменчивость подобного рода отражает изменения фенотипа под действием разнообразных факторов среды.

Примерами ненаследственной изменчивости могут быть загар у человека, обусловленный выработкой пигмента меланина под действием ультрафиолетовых лучей; прибавка в массе тела сельскохозяйственных животных при рациональном кормлении; высокий урожай овощей на плодородной почве или, напротив, угнетение растений в условиях затенения и нехватки минеральных веществ (рис. 51). В данных случаях ультрафиолетовое излучение, хорошее кормление, высокое плодородие почвы или, напротив, скудные почвы и недостаточная освещённость — факторы среды, вызывающие соответствующую изменчивость. Как только действие фактора прекращается, исчезает и появившийся признак.

Для любознательных

К ненаследственной относят и *онтогенетическую изменчивость*, которая связана с работой разных групп генов на разных стадиях развития организма. На каждом последующем этапе развития особь приобретает новые признаки строения и жизнедеятельности.

Изменения фенотипа особи на разных этапах развития запрограммированы в её генотипе. Сам генотип на протяжении всего онтогенеза остаётся неизменным.

У некоторых организмов признаки внешнего и внутреннего строения на разных стадиях постэмбрионального периода сильно различаются. Так, в онтогенезе лягушки присутствует стадия личинки, обитающей в воде и обладающей рядом приспособлений к этой среде жизни. Подобная онтогенетическая изменчивость имеет преимущества: «своя» среда обитания и «своя» пища позволяют личинкам не конкурировать со взрослыми организмами. Тем самым повышаются шансы выжить и достичь стадии половой зрелости.

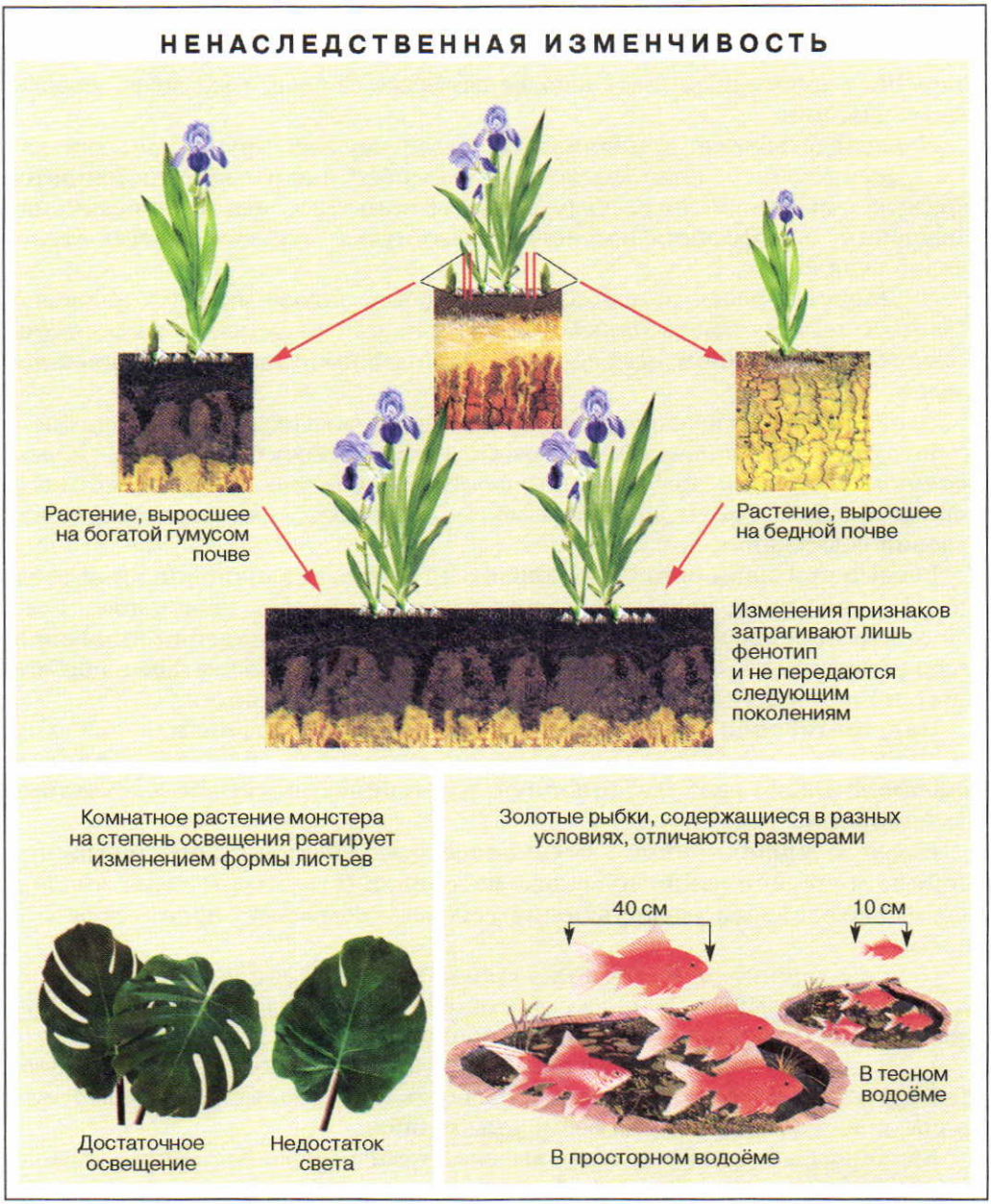


Рис. 51. Примеры ненаследственной изменчивости

Ненаследственная изменчивость носит приспособительный характер. Так, повышенное содержание пигмента меланина в коже не позволяет солнечным лучам проникать в более глубокие её слои и вызывать необратимые реакции.

Ненаследственную изменчивость можно назвать групповой, так как при одинаковых условиях вся группа особей одного вида изменяется сходным образом. Если рассаду капусты поместить вдали от источника освещения, все растения постепенно вытянутся, окраска листьев станет бледно-зелёной.

Ч. Дарвин в своей книге «Происхождение видов» называл ненаследственную изменчивость *определённой*, так как организмы изменяются в строго определённом направлении — под влиянием фактора внешней среды.

Однако пределы ненаследственной изменчивости ограничены генотипом особи, существуют определённые границы изменяемости признака — ***норма реакции***. Например, невозможно увеличить количество надоев молока у коровы мясной породы до уровня молочной породы, даже если улучшить условия содержания животного.

Разные признаки организма характеризуются различной нормой реакции. Например, не подвержены изменчивости группы крови, цвет глаз, общее строение систем органов. В то же время количественные признаки особи (у растения — величина листовой пластинки, число цветков на побеге, масса и количество плодов) имеют широкую норму реакции.

Наследственная изменчивость. Изменчивость организмов, обусловленную изменениями в генетическом материале, называют ***наследственной***. Различают мутационную и комбинативную наследственную изменчивость.

В основе ***мутационной изменчивости*** лежат ***мутации*** — внезапные стойкие изменения генетического материала (структуры гена, числа и последовательности расположения генов в хромосоме, количества хромосом).

Основы учения о мутациях, заложенные голландским ботаником Х. де Фризом в 1901—1903 гг., не утратили значения и по сей день. Рассмотрим основные положения мутационной теории.

1. Мутации возникают внезапно, без всяких переходов. При этом изменяется структура ДНК. Наибольшая опасность перестройки ДНК существует во время её удвоения, когда возможны ошибки.

Внешние факторы (например, высокая температура, радиация) повышают риск возникновения мутаций. Факторы, которые вызывают изменения генотипа, называют ***мутагенами***.

Для любознательных

Ионизирующая радиация, как обнаружили впервые отечественные учёные *Г. А. Надсон* и *Г. С. Филиппов* (1925) в опытах на дрожжах и американский генетик *Г. Мёллер* (1927) в исследованиях на дрозофиле, обладает сильным мутагенным действием, вызывает значительную изменчивость генов, которая проявляется и фенотипически.

2. Мутации ненаправленны, поэтому совершенно невозможно предсказать, какой ген и в каком месте будет повреждён. Следовательно, сложно прогнозировать, в каком направлении изменится организм.

По характеру повреждения генотипа мутации могут быть генными, хромосомными и геномными.

Генные (или ***точковые***) мутации затрагивают структуру гена, вследствие чего нарушается последовательность нуклеотидов в молекуле ДНК. Они составляют самую большую и наиболее важную долю всех мутаций организма и приводят к чрезвычайно разнообразным изменениям признаков. В результате генных мутаций образуются новые белки. Даже один изменённый нуклеотид может оказать большое влияние на жизнеспособность организма. Если новый белок, появившийся при участии мутантного гена, будет сильно отличаться по своей структуре и свойствам от первоначального, организм может погибнуть. Несущественные изменения в белке не отразятся на жизнеспособности особи.

Хромосомные мутации связаны с изменением структуры хромосом. Структура хромосомы изменяется при нарушении порядка расположения в ней генов.

Число хромосом также подвержено изменениям. В этом случае отмечаются так называемые ***геномные*** мутации.

Гено́м — совокупность генов, характерных для гаплоидного набора хромосом в организме определённого вида. Если число хромосом удваивается, утраивается, т. е. увеличивается на целые хромосомные наборы, то речь идёт о *полиплоидии* (от греч. *polyploos* — многократный, *eidos* — вид). Возникает полиплоидия в результате нарушения расхождения хромосом в мейозе. Она наиболее часто встречается у растений и простейших, а из многоклеточных животных — у дождевых червей. Полиплоиды характеризуются крупными размерами, устойчивостью к неблагоприятным условиям и часто используются как исходный материал для выведения новых сортов (см. рис. 61).

Хромосомный набор может увеличиваться или уменьшаться на одну, две и более хромосом. Такие мутации, как правило, влекут за собой нарушения в строении и функционировании жизненно важных систем органов. Болезнь Дауна — классический пример подобной мутации: у людей с таким заболеванием в 21-й паре три хромосомы. Для больных с синдромом Дауна характерны нарушения в работе нервной, сердечно-сосудистой и других систем,

умственная отсталость и в целом небольшая продолжительность жизни (около 50% детей — носителей этой мутации не доживают до трёхлетнего возраста).

3. Мутации наследственны. Новый признак, полученный организмом вследствие мутации, стойко передаётся из поколения в поколение. Например, известно, что при недостатке витамина С в организме человека развивается болезнь цинга. Человек вынужден получать витамин С с пищей. В то же время другие млекопитающие могут его синтезировать из глюкозы. Синтез витамина С идёт в три этапа, каждый из которых регулируется своим ферментом. Три фермента кодируются тремя генами. Мутация одного гена у древних приматов привела к тому, что цепь оборвалась: фермент не образовался, синтез витамина С нарушился. Для обезьян, питающихся зеленью, эта мутация малоощутима. Для человека, который унаследовал её от предков, неспособность производить витамин «своими силами» вызывает необходимость строго контролировать рацион питания и ежедневно включать в него овощи и фрукты. В противном случае развивается цинга.

Комбинативная изменчивость. Возникновение новых комбинаций генов в процессе мейоза и оплодотворения, а также передача генетического материала из клетки в клетку, например при конъюгации простейших, обусловливают ***комбинативную изменчивость***.

Вам известно, что именно половое размножение обеспечивает значительное генотипическое разнообразие и, следовательно, изменчивость потомства.

Родные братья и сёстры похожи на родителей, и в то же время каждый из них индивидуален, имеет свои неповторимые черты. Это объясняется тем, что родительские гены комбинировались во всевозможных сочетаниях дважды: в процессе мейоза и в результате слияния гамет. Определить, какие именно комбинации признаков появятся в потомстве родительской пары, невозможно.

Комбинативная изменчивость — одна из причин генотипического и фенотипического разнообразия вида. Благоприятные сочетания признаков, в том числе полученных и в результате мутаций, в конкретных условиях способствуют повышению жизнеспособности особей и вида в целом.

ПРОВЕДИТЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Изучение ненаследственной изменчивости листьев у комнатных растений

Цель работы — убедиться в том, что фенотип особи может изменяться под действием разнообразных факторов среды.

Сравните результаты наблюдений за колеусом и эхеверией, выращиваемыми в разных условиях освещённости (см. практическую работу к § 18).

Отметьте различия в окраске листьев опытных и контрольных растений, величине листовых пластинок, длине междоузлий. Сравните опытные растения с контрольными.

Сделайте вывод о влиянии фактора освещённости на общий облик растения. Результаты работы представьте в форме презентации и доложите на уроке.

Вопросы и задания

1. Охарактеризуйте ненаследственную изменчивость. Почему Ч. Дарвин назвал её определённой?
2. Сравните наследственную и ненаследственную формы изменчивости, выявите черты сходства и различия.
3. Можно ли утверждать, что ненаследственная изменчивость не зависит от генотипа особи? Ответ аргументируйте.
4. Найдите в Интернете информацию о криптической окраске таких животных, как хамелеон, камбала и др. Примените знания об изменчивости для объяснения этого явления. Подготовьте в форме презентации сообщение о роли ненаследственной изменчивости в природе.
5. Объясните значение терминов «норма реакции», «мутация», «мутаген».
6. Охарактеризуйте основные положения мутационной теории.
7. Приведите классификацию мутаций по характеру повреждения генотипа.
8*. Используя знания о гомозиготном и гетерозиготном организме, докажите, что не всегда генная мутация проявляется в фенотипе особи.
9. Иногда родители говорят о своём ребёнке, что «он — копия дедушки (бабушки)». Прокомментируйте это высказывание с позиции генетика.

ГЕНЕТИКА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

Генетика — перспективная, быстро развивающаяся отрасль современной биологии. Универсальные законы наследственности и изменчивости справедливы для всех организмов. В полной мере они приложимы и к человеку. Роль генетики в практической деятельности человека огромна. Знания о наследственности и изменчивости применяют в изучении, своевременном выявлении и профилактике наследственных заболеваний.

Генетика широко используется в селекции, основной задачей которой служит создание новых высокопродуктивных пород животных и сортов растений, что позволяет решать проблему обеспечения населения планеты продовольствием.

§ 28. Генетика и медицина

Какие наследственные болезни вам известны?

Изучение наследственных болезней стало возможным с развитием генетики как науки. Наряду с заболеваниями, вызываемыми бактериями и вирусами, было изучено множество наследственных болезней человека.

Генетика человека изучает свойства наследственности и изменчивости применительно к человеку — на клеточном, организменном, популяционно-видовом уровнях организации.

Законы наследственности и изменчивости были открыты и подробно изучены во многом благодаря методу гибридологического анализа, предложенному Г. Менделем.

В чём заключается метод гибридологического анализа?

Удобными объектами для генетических исследований служили виды, легко скрещивающиеся в искусственных условиях, имеющие высокую плодовитость и короткий жизненный цикл. Это однолетние растения, например горох, насекомые (плодовая мушка-дрозофила), некоторые бактерии.

Для человека как вида невозможно использовать метод гибридологического анализа в целях изучения его наследственности и изменчивости. Немногочисленное потомство, значительная продолжительность жизни, неосуществимость целенаправленного скрещивания в интересах исследователя привели к необходимости поиска новых методов изучения генетики человека.

Общенаучное признание получили генеалогический, близнецовый и ряд других методов исследования генетики человека.

Генеалогический метод. В основе генеалогического метода лежат составление и анализ родословной схемы — ***генеалогического древа***. На генеалогическом древе учитываются все члены семьи — носители данного признака и возможности проявления его в следующих поколениях.

Наследование отдельных заболеваний можно проследить на примере знаменитых династий, в том числе королевских. Например, наследственная аномалия строения черепа, выражающаяся в слабой нижней челюсти и толстой нижней губе, так называемой габсбургской губе, была распространена в династии Габсбургов на протяжении семи веков.

Печально известную гемофилию называют «болезнью королей», так как чаще всего она встречалась в королевских семьях. Болезнь выражается в неостанавливаемых кровотечениях, возникающих при малейших ранах. Для царской семьи России исходной носительницей гена гемофилии считают английскую королеву Викторию. Внучка Виктории Алиса (жена

русского царя Николая II Александра Фёдоровна) передала эту болезнь царевичу Алексею. Широкое распространение заболевания среди царских фамилий объясняется их близкородственными браками (рис. 52).

Используя генеалогическое древо, можно проследить и наследование музыкальных способностей. Родословная семейства Бах (рис. 53) ведёт начало от Фейта Баха, умершего в 1619 г. За два столетия из династии Бахов, насчитывающей шесть поколений, более 25 человек стали выдающимися и одарёнными музыкантами. Среди детей Иоганна Себастьяна Баха у трёх были выявлены большие музыкальные способности, а двое оказались исключительно одарёнными. Конечно, музыкальные способности передаются по наследству, но их проявление в большой мере зависит от среды, в которой воспитывается ребёнок.

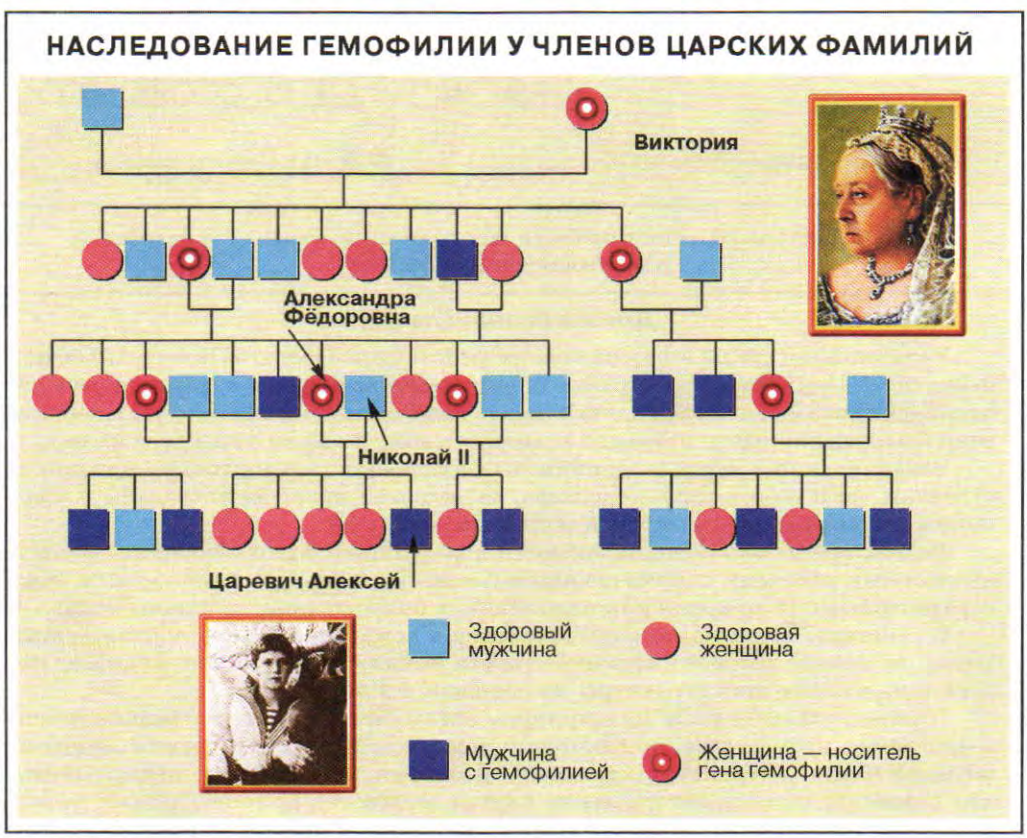


Рис. 52. Генеалогическое древо потомков королевы Виктории

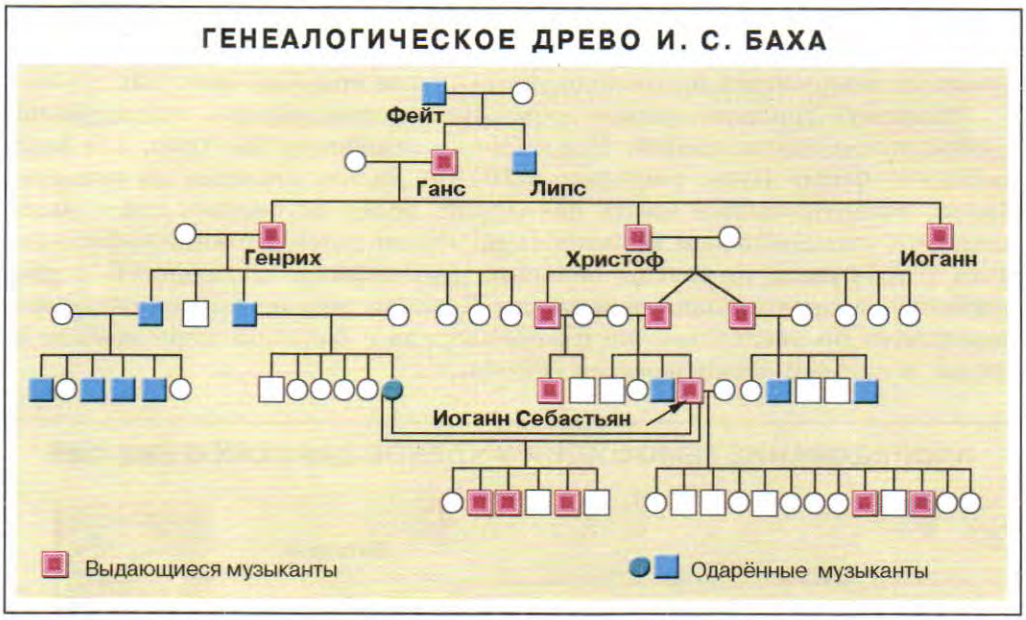


Рис. 53. Шесть поколений семейства Бах дали миру множество одарённых и выдающихся музыкантов

Для любознательных

Роль внешней среды в формировании фенотипа позволяет выявить *близнецовый метод*. При этом исследуются однояйцевые близнецы, т. е. развившиеся из одной оплодотворённой яйцеклетки. Разделение зиготы на бластомеры в первые моменты деления часто приводит к независимому развитию каждого из них.

Различия в фенотипе у однояйцевых близнецов (это не только признаки строения, но и особенности характера, мышления) могут быть связаны с влиянием внешней среды, в которой воспитывались дети.

Разнояйцевые близнецы рождаются в результате оплодотворения разных яйцеклеток разными сперматозоидами и могут быть как однополыми, так и разнополыми (в то время как однояйцевые близнецы всегда одного пола).

В генетике человека широко применяют *популяционно-статистический* метод, на основе которого изучается генетическая структура популяций человека и изменение этой структуры из поколения в поколение.

Цитогенетический и *молекулярно-генетический* методы развиваются в настоящее время особенно быстрыми темпами. Цитогенетическим методом изучают число и структуру хромосом, выявляют хромосомные перестройки, что позволяет строить генетические карты. Молекулярно-генетический метод позволяет проникнуть на уровень гена как участка молекулы ДНК, изучить его химическую природу.

Наследственные заболевания и их предупреждение. Среди наследственных болезней человека выделяют хромосомные и генные.

Хромосомные болезни обусловлены изменением числа и структуры хромосом. К ним относят болезнь Дауна, при которой в организме насчитывают 47 хромосом — лишняя хромосома в 21-й паре (рис. 54).

Вспомните, каковы нарушения в развитии больных с синдромом Дауна.

Лишняя половая хромосома или недостаток одной из них также является причиной заболевания. Встречаются мужчины с тремя половыми хромосомами (XXY), а женщины — с одной X-хромосомой. У таких больных не столь ярко выражены дефекты умственного развития, как

Рис. 54. Хромосомный набор и фенотипические признаки ребёнка с синдромом Дауна

у людей с синдромом Дауна. Однако для них характерны непропорционально сложенное тело, нарушения развития половых органов, нередки аномалии роста.

Генные болезни обусловлены нарушением структуры генов. Это вызывает в организме аномалии, например диспропорциональную карликовость, полидактилию (лишние пальцы на руках и ногах), дальтонизм, гемофилию.

Медико-генетическое консультирование. Наиболее распространённым видом профилактики наследственных заболеваний является ***медико-генетическое консультирование***. Используя все возможные методы генетического исследования (в том числе и информацию о здоровье родственников), специалисты определяют вероятность или степень риска рождения ребёнка с наследственными аномалиями в конкретной семье.

Достаточно широко распространено диагностирование наследственных болезней до рождения ребёнка. Методами дородовой диагностики исследуют околоплодную жидкость, в которой находятся и клетки плода. С помощью центрифугирования её разделяют на фракции. В них исследуют содержание промежуточных продуктов обмена веществ для выявления заболевания, вызванного генной мутацией. Зародышевые клетки выращивают на питательной среде и используют для определения числа хромосом, выявления возможных хромосомных аномалий (рис. 55).

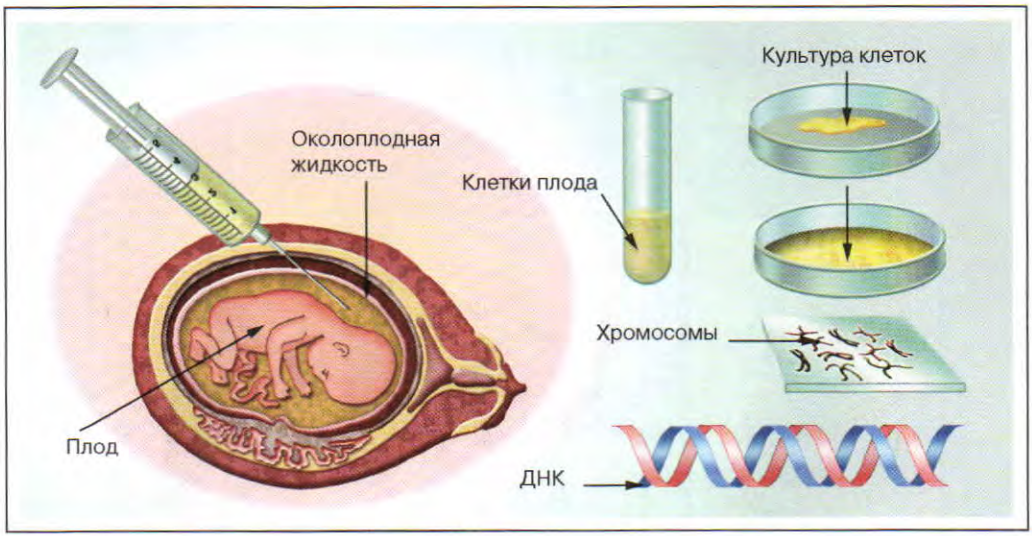


Рис. 55. Метод пренатального (применяемого до рождения) диагностирования наследственных заболеваний

Для любознательных

Информация о генетических особенностях каждого человека даёт возможность ещё до рождения ребёнка предсказать, к каким наследственным заболеваниям будет предрасположен человек, определить меры профилактики и лечения, дальнейший выбор профессии. Так, у носителей мутации, приводящей к талассемии (заболеванию крови), при повышенной физической нагрузке может наступить смерть вследствие избытка кислорода в крови. Таким людям противопоказана, в частности, профессия пилота авиалайнера. Им иногда приходится использовать кислородные маски, которые в случае носительства мутации представляют угрозу жизни пилота, следовательно, и угрозу жизни пассажиров.

Японские учёные, исследуя последствия атомной бомбардировки в Хиросиме и Нагасаки, установили, что хромосомные мутации обнаруживаются у людей даже спустя десятки лет после атомных взрывов.

Для того чтобы обезопасить человека от мутагенов, каждое новое вещество, предназначенное для медицины, сельского хозяйства, пищевой промышленности, проходит тест на генетическую активность. И только убедившись, что то или иное вещество не мутаген, генетики рекомендуют его к использованию.

Причиной наследственных болезней может быть действие факторов внешней среды. Ионизирующая радиация, ультрафиолетовое излучение, различные химические соединения, лекарства, аэрозоли, красители и даже пищевые добавки могут стать мутагенами, т. е. вызывать мутации в клетках человека.

Нередко причина аномального развития будущего ребёнка заключается в употреблении его родителями спиртных напитков и наркотиков.

Многочисленными исследованиями установлено, что у родителей, страдающих алкоголизмом и наркоманией, значительно чаще встречаются случаи рождения мертворождённых, недоношенных, умственно отсталых и страдающих различными физическими и нервными расстройствами детей, а также высока их смертность на первом году жизни.

Вопросы и задания

1. Объясните, почему метод гибридологического анализа неприменим для человека.
2.* На основе информации, представленной на рис. 54, и текста параграфа докажите, что количественные изменения в геноме отражаются на качестве фенотипа.
3. Объясните, почему в современном мире широкое распространение получила пренатальная (дородовая) диагностика.
4. Используя дополнительную биологическую литературу и ресурсы Интернета (www.elementy.ru, www.ru.wikipedia.org), познакомьтесь с проблемой проявления наследственных заболеваний у человека и достижениями генетики в профилактике этих заболеваний. Оформите работу в виде презентации и выступите с ней перед классом или на школьной конференции.

§ 29. Генетика и селекция

Чем объяснить существующее многообразие пород домашних животных и сортов культурных растений?

Селекция (от лат. *selectio* — выбор, отбор) — наука о методах выведения новых сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов на основе достижений генетики, молекулярной биологии и других биологических наук. Селекцией также называют отрасль сельскохозяйственного производства, занимающуюся выведением сортов растений и пород животных.

Порода, сорт — группа особей одного вида, искусственно выведенная человеком в результате селекции, обладающая признаками, нужными человеку и наследственно закреплёнными. Породы животных, сорта растений создают специально для получения нужного вида продукции.

Человек создал все существующие сорта культурных растений и породы домашних животных.

Он отбирал самые качественные семена дикорастущих растений и высевал их в почву. Растения, выращенные из таких семян, давали больший урожай.

Потомство, полученное от наиболее ценных в хозяйственном отношении особей домашних животных, обладало более высокой продуктивностью. Так, в частности, были выведены молочные породы крупного рогатого скота, которые давали молоко не только во время вскармливания потомства, но и круглый год. Появились породы кур, которые по сравнению со своими предками (дикими банкивскими курами) неслись гораздо более продолжительное время. Для охоты человек вывел борзую собаку, способную догнать даже очень быстрого зверя.

Хотя благодаря целенаправленному отбору было создано много ценных для человека пород домашних животных и сортов культурных растений, без знания закономерностей изменчивости и наследственности организмов человек руководствовался лишь наблюдениями и догадками. В поисках нужного он часто ошибался. Поэтому путь к получению необходимой породы или сорта был чрезвычайно длительным.

Крупнейший русский естествоиспытатель, генетик, селекционер Н. И. Вавилов считал, что селекция — это эволюция, направляемая волей человека. Огромную роль в получении урожайных сортов растений и высокопродуктивных пород животных сыграл закон гомологических рядов, сформулированный Н. И. Вавиловым.

Закон гомологических рядов. Познание закономерностей наследственности и изменчивости открыло перед селекционерами большие возможно-

сти по ускоренному изменению растений, животных и микроорганизмов в нужном человеку направлении.

Человек давно подметил, что в природе среди видов одного рода наблюдается удивительное сходство в наследственной изменчивости. Так, у тыквенных встречается разновидность дыни, плоды которой неотличимы от плодов огурца. Среди арбузов были найдены разновидности с плодами, похожими на дыню.

Н. И. Вавилов, изучив подобные случаи у культурных растений, вывел ***закон гомологических рядов наследственной изменчивости***: «Виды и роды, генетически близкие, характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что, зная ряд форм в пределах одного вида, можно предвидеть существование параллельных форм у других видов и родов».

Благодаря закону гомологических рядов и знанию наследственных признаков пшеницы Н. И. Вавилову удалось предсказать ряд неизвестных форм ржи. Например, он прогнозировал существование ржи с красной, белой, чёрной, фиолетовой окраской зерновок, с остистыми и безостыми колосьями. Эти формы действительно были позднее открыты (рис. 56).

Закон гомологических рядов справедлив не только для растений, но и для животных. Так, практически во всех группах животных встречаются альбиносы. Известны альбиносы вороны и пингвины, рыси и жирафы, гориллы и люди. Причина этого явления одна — в результате действия мутантного гена у них не образуется пигмент меланин, окрашивающий кожу, волосы (шерсть), глаза в определённый цвет.

Закон, сформулированный Н. И. Вавиловым, имеет огромное значение для селекционной практики. Он позволяет определить направление, в котором селекционерам необходимо работать.

Николай Иванович Вавилов
(1887—1943)

Например, зная, что в растениях семейства паслёновых содержатся различные формы ядовитого вещества соланина, учёные стали искать дикорастущий картофель, соланин которого ядовит и для колорадского жука. Такой картофель был найден. Скрещивание культурного картофеля с дикорастущей формой — путь получения нового сорта, которому не страшен этот вредитель.

Законом гомологических рядов нередко руководствуются в своей работе фармацевты при изготовлении лекарств. Например, знаменитое растение женьшень, имеющее целебный корень,

ЗАКОН ГОМОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ НАСЛЕДСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Ряды сходной изменчивости у разных сортов пшеницы

	Твёрдая	Мягкая	Посевная	Вытянутая	Скученная
Красный колос					
Белый колос					
Чёрный колос					

Примеры проявления закона гомологических рядов

Женьшень

Элеутерококк колючий

Эти растения семейства аралиевых содержат вещества, сходные по фармакологическим свойствам

Альбиносы встречаются практически у всех групп животных

Рис. 56. Сходная изменчивость у близкородственных видов растений и животных

весьма требовательно к условиям среды и медленно растёт. Исследователи нашли аналоги с подобными лекарственными свойствами среди родственников женьшеня в семействе аралиевых. Элеутерококк содержит вещества, сходные по фармакологическому действию с веществами знаменитого женьшеня.

Огромное значение закон гомологических рядов имеет для медицины. Многие наследственные болезни человека изучают на модельных объектах — животных. Так, катаракта (помутнение хрусталика) отмечается у мышей, крыс, собак и лошадей, гемофилия — у мышей и кошек, глухота — у морских свинок и собак.

В настоящее время учёные-генетики вплотную приступили к расшифровке генома ряда млекопитающих, в том числе человека.

Для любознательных

В 1989 г. была принята международная программа «Геном человека», в рамках которой работают учёные разных стран, в том числе и России. Этот глобальный проект успешно завершился в 2005 г. определением полной последовательности нуклеотидных звеньев, составляющих геном человека. Однако владение информацией о последовательности азотистых оснований в цепях ДНК ещё не означает, что люди будут знать, какие функции выполняют расшифрованные гены, как регулируется их работа. Это ещё одно направление поиска международной программы «Геном человека».

Исследования учёных показали, что сходство генома человека и мыши составляет около 80%. Это открытие объясняет возникновение сходной изменчивости и блестяще подтверждает закон гомологических рядов Н. И. Вавилова. Кроме того, оно служит ещё одним доказательством общности происхождения млекопитающих животных, в том числе и человека.

Вопросы и задания

1. Объясните значение терминов «селекция», «порода», «сорт».
2. Используя информацию, представленную на рис. 56, охарактеризуйте значение открытия Н. И. Вавиловым закона гомологических рядов в наследственной изменчивости для современной селекции.
3. Согласны ли вы с утверждением о том, что генетика является основой селекции? Ответ обоснуйте.
4. Используя ресурсы Интернета (www.elementy.ru, www.ru.wikipedia.org, www.membrana.ru) и другую дополнительную литературу, подготовьте сообщение об итогах и достижениях международной программы «Геном человека» по расшифровке генетического кода человека. Подготовьтесь к дискуссии об этических проблемах, связанных с возможностями прочтения последовательности генов в геноме каждого человека.

§ 30. Исходный материал для селекции. Искусственный отбор

Что является исходным материалом для выведения новых сортов растений и пород животных?

Для любознательных

На основе богатого экспедиционного материала были установлены географические центры происхождения культурных растений.

Центры происхождения культурных растений — места, где наблюдается их наибольшее видовое и сортовое многообразие. Как правило, они совпадают с очагами древнейшего земледелия. В результате исследований выявлены семь таких центров, из которых три расположены в Азии, два — в Америке, один — в Африке и один — в Европе (рис. 57).

К центрам происхождения культурных растений относят следующие:

Южноазиатский — родина риса, сахарного тростника, цитрусовых, баклажан, манго, огурца;

Восточноазиатский — родина проса, гречихи, чая, сои, многих плодовых (сливы, яблони, груши);

Юго-западноазиатский — родина пшеницы, гороха, ржи, лука, чеснока, винограда;

Средиземноморский — родина маслин, овса, многих овощных культур (свёклы, капусты, репы, редьки);

Абиссинский (в Африке) — родина кофе, твёрдой пшеницы, горчицы, льна;

Центральноамериканский (в Мексике) — родина кукурузы, хлопчатника, перца, тыквы, какао, томатов, подсолнечника;

Южноамериканский (в Андах) — родина картофеля, табака, ананаса, арахиса, хинного дерева и многих других культур.

Учение об исходном материале. Каждый селекционер, работая над созданием нового сорта, не может обойтись без образцов различных сельскохозяйственных культур и их дикорастущих сородичей. Создание генетического фонда исходного материала для селекции в нашей стране связано с именем Н. И. Вавилова. Под его руководством были направлены десятки экспедиций в различные уголки земного шара для поиска предшественников многих культурных растений.

Продолжая традиции, заложенные Н. И. Вавиловым, учёные Всероссийского института растениеводства организовали множество экспедиций в различные районы мира для обновления и пополнения коллекции растений.

Благодаря созданию этого богатейшего фонда сделаны большие успехи в выведении новых сортов зерновых, технических, овощных и плодовых культур.

Рис. 57. Центры происхождения культурных растений

Исходным материалом для современной селекции в животноводстве служат уже существующие породы домашних животных, дикие предки которых давно были приручены человеком в связи с переходом от охоты и собирательства к земледелию. Так, родоначальником пород крупного рогатого скота был дикий бык тур, который за несколько тысячелетий до нашей эры обитал по всей Европе, Азии и Северной Африке. Диким предком современных лошадей считают лошадь Пржевальского, сохранившуюся до наших дней в Монголии, и тарпана, обитавшего в Европе. Волк и шакал дали начало всему многообразию пород собак.

Одомашнивание — длительный процесс превращения диких животных в домашних, который осуществлялся одновременно в разных районах

земного шара. Люди выращивали детёнышей диких животных, каким-то образом попавших к ним. Из диких лучше всего выживали те, которые менее агрессивно относились к приручению. Заметив, что одомашненные животные приносят пользу, их стали разводить не только для получения мяса, но и в качестве источника молока, яиц, шерсти и другой продукции, так необходимой человеку.

Искусственный отбор. Отбор человеком наиболее ценных в хозяйственном отношении особей животных и растений для получения от них потомства с желательными признаками называют ***искусственным отбором.***

Искусственный отбор — важнейший метод селекции и основной фактор, обусловивший многообразие пород домашних животных и сортов культурных растений.

Вначале человек мало задумывался о дальнейшем улучшении нужных качеств у одомашненных им животных. Так, он использовал в пищу в первую очередь малопригодных для дальнейшего размножения особей. Выбраковывая их, он бессознательно способствовал тому, что для дальнейшего размножения отбирались наиболее жизнеспособные особи. Такой отбор Ч. Дарвин назвал *бессознательным.* Бессознательный отбор сводится к выбраковке неудовлетворительных признаков. При этом отсутствует осознанная цель селекционной работы.

Для любознательных

При раскопках на территории Ирана, где когда-то располагалось рабовладельческое государство Элам, археологи нашли доску с изображением лошадиных голов. Изучив находку, учёные пришли к выводу, что на доске изображена одна из первых родословных лошадей. Древний коневод увековечил на доске три типа профиля головы лошади и три типа конской гривы. Эти признаки, в числе других, и сегодня служат современным коневодам для определения пород лошадей (рис. 58).

Позднее стали использовать целенаправленное скрещивание. Например, для разведения ездовых лошадей отбирали быстрых, выносливых жеребцов и кобыл, а хороших тягловых лошадей получали от сильных и спокойных животных.

Таким образом, постепенно на смену бессознательному отбору пришёл отбор ***методический.*** Его характерная черта — постановка чёткой цели, определяющей будущую породу или желаемый сорт. При этом селекционеры выявляют и сохраняют лучших особей, соответствующих стандарту (уже существующему или будущему).

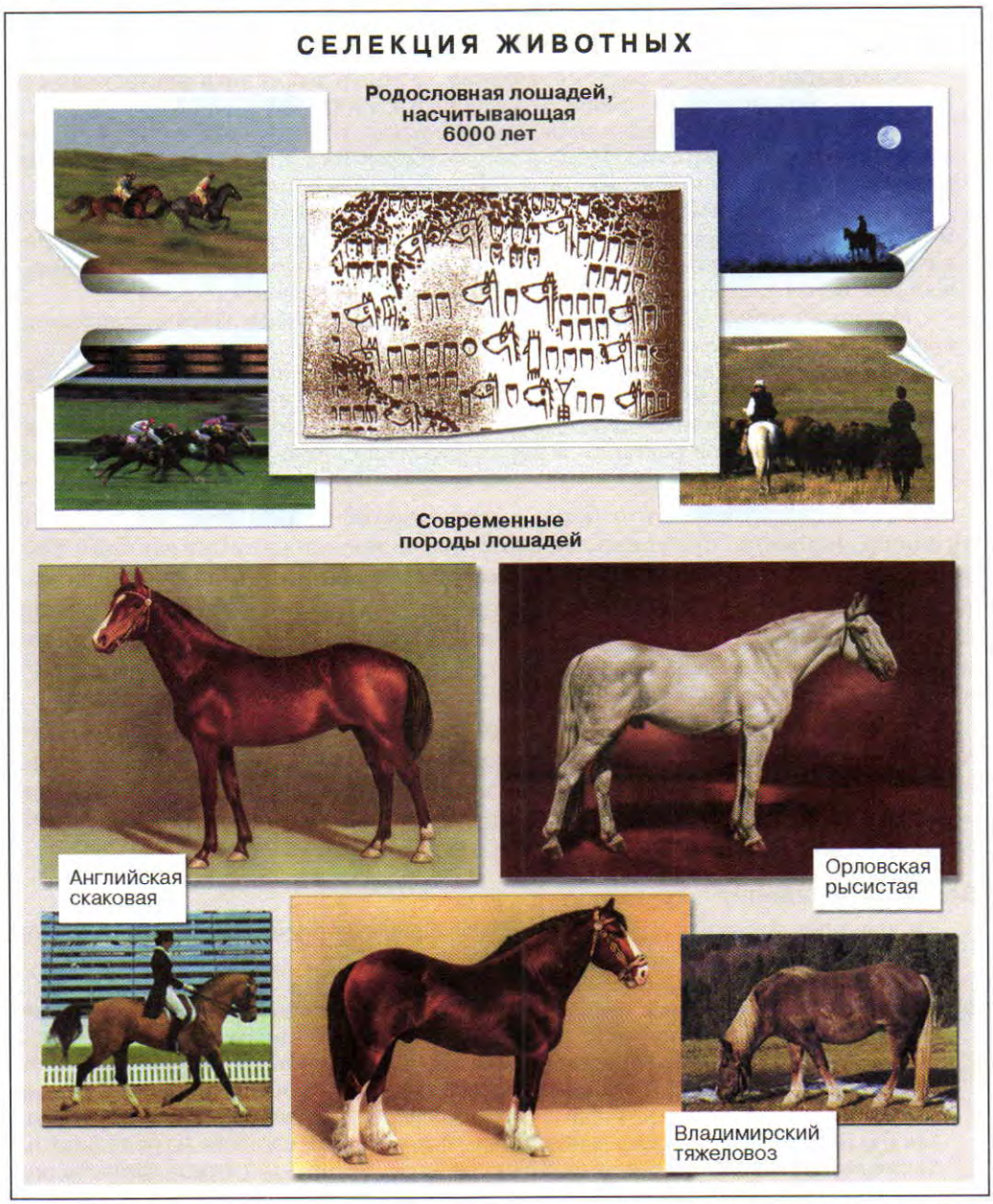


Рис. 58. Родословная лошадей, насчитывающая 6000 лет, и современные породы лошадей

Для любознательных

В животноводстве и растениеводстве принято различать два основных принципа методического отбора — массовый и индивидуальный.

Массовый отбор проводят только по фенотипу, т. е. с учётом лишь совокупности признаков организма. Подбор родительских пар отсутствует. Направлен этот отбор на поддержание данной породы или сорта на заданном уровне.

Так, у кур породы русская белая, широко распространённой на птицефермах, сохраняют только самок массой не менее 1,8 кг, несущих 200 и более яиц в год, обладающих белой окраской и лишённых инстинкта насиживания. Кур, которые не соответствуют этому стандарту, выбраковывают.

Массовый отбор — основа выведения местных пород и сортов, например холмогорская порода коров, ахалтекинская порода лошадей.

При *индивидуальном отборе* осуществляются подбор родительских пар и оценка их по потомству. Оценка потомства позволяет определять, как наследуются нужные признаки. Этот отбор применяется не только для улучшения существующих сортов растений и пород животных, но и для создания новых.

Итоги искусственного отбора — постепенное накопление и усиление нужного человеку признака. В этом проявляется накапливающая роль искусственного отбора. Примером может служить отбор на высокую масличность подсолнечника, проводившийся В. С. Пустовойтом. Благодаря целенаправленному отбору (с 1940 по 1963 г.) он создал сорта подсолнечника, содержание масла в семенах которых увеличилось более чем на 20 % и составило 50—54 %.

Преобразующая роль искусственного отбора заключается в том, что постепенно меняется весь организм, а не только один признак, подвергшийся отбору. Причина этого — взаимозависимость и согласованность всех компонентов биосистемы. Именно преобразующая роль отбора помогает создавать новые породы и сорта (рис. 59).

Вопросы и задания

1. Охарактеризуйте вклад Н. И. Вавилова в создание генетического фонда исходного материала для селекции.
2. Объясните значение термина «искусственный отбор».
3. Сравните методический и бессознательный искусственный отбор. Выявите черты сходства и различия этих видов отбора. Какой из них появился раньше и почему?
4. Используя информацию, представленную на рис. 59, объясните, почему у хосты селекционеры осуществляют искусственный отбор растений, отличающихся изменчивостью листьев, а у георгинов — отличающихся изменчивостью соцветий. Какие органы и почему подверглись наибольшей изменчивости у растений из рода капусты?
5. Используя дополнительную литературу, ресурсы Интернета (www.ru.wikipedia.org), подберите материал о жизни и научной деятельности видного отечественного учёного Н. И. Вавилова. Подготовьте презентацию и выступите перед одноклассниками.

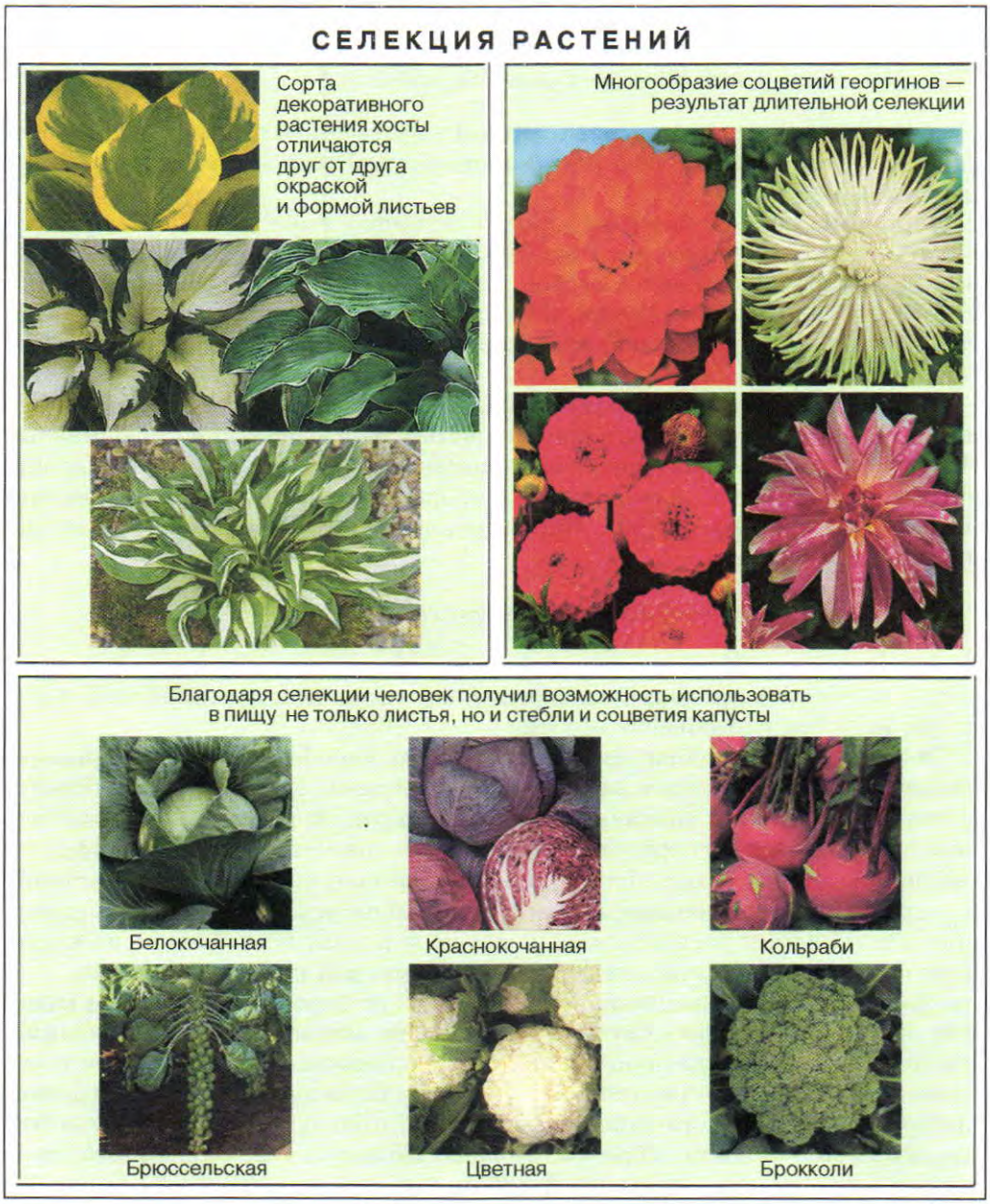


Рис. 59. Сорта культурных растений, выведенные человеком в результате селекции

§ 31. Многообразие методов селекции

Какова роль селекции в сельском хозяйстве?

Все методы селекции основаны на искусственном отборе особей, обладающих нужными для человека признаками. Рассмотрим подробнее эти методы.

Гибридизация. Одним из широко используемых методов селекции является ***гибридизация*** (от лат. *hibrida* — помесь) — естественное или искусственное скрещивание особей, отличающихся по своим признакам и относящихся к разным сортам, породам, видам и даже родам. В процессе гибридизации получают гибриды, характеризующиеся новыми по составу генов генотипами.

Для получения высокопродуктивных гибридов с новыми комбинациями желаемых признаков вначале применяют ***близкородственное скрещивание***. Перекрёстноопыляемые растения принудительно самоопыляют, а у животных скрещивание проводят между родственными особями. В генотипе потомства возрастает степень гомозиготности. Так выводят чистые линии организмов.

Чем характеризуются чистые линии?

У чистых линий закрепляются отдельные желаемые признаки. В то же время возрастает процент наследственных аномалий, отрицательно влияющих на жизнеспособность особей.

На втором этапе гибридизации применяют ***неродственное скрещивание*** организмов, относящихся к разным чистым линиям внутри сорта или породы. Часто скрещиваются различные породы и сорта. В результате неродственного скрещивания у гибридов первого поколения может появиться ***эффект гибридной силы***, выражающийся в более высокой урожайности у растений и повышенной продуктивности и жизнеспособности у животных. Например, при скрещивании разных мясных пород кур получают бройлерных кур, отличающихся скороспелостью и высокой мясной продуктивностью.

Часто проводят скрещивание организмов, относящихся к разным видам или даже родам. В этих случаях имеет место ***отдалённая гибридизация***. Это довольно сложный процесс, так как у организмов разных видов и тем более разных родов — различный генетический материал (число и строение хромосом). Очень часто такое скрещивание приводит к образованию бесплодных (стерильных) гибридов, не дающих потомства. Однако благодаря кропотливой и самоотверженной работе учёных-селекционеров получены межродовые гибриды, способные размножаться.

Для любознательных

В 1924 г. отечественный учёный Г. Д. Карпеченко получил плодовитый межродовой гибрид. Он скрестил редьку ($2n$ = 18 редечных хромосом) и капусту ($2n$ = 18 капустных хромосом). У гибрида в диплоидном наборе также оказалось 18 хромосом, но они не сближались во время мейоза. Поэтому образование гамет у данного организма было нарушено. Учёному удалось удвоить хромосомный набор гибрида, т. е. получить полиплоид с 36 хромосомами. В результате редечные и капустные хромосомы (18 + 18) сближались и соединялись между собой. Плодовитость была восстановлена (рис. 60).

Гибриды, способные к размножению, среди животных — явление редкое. В ходе длительных экспериментов по гибридизации осетровых рыб учёными был выведен бестер — гибрид белуги и стерляди. Эти виды резко отличаются между собой по морфологическим, физиологическим и экологическим признакам (рис. 60).

Другие методы селекции. С целью выведения новых сортов растений широко применяется получение ***полиплоидов*** (от греч. *polyploos* — многократный, *eidos* — вид) — организмов, у которых число хромосом увеличено в два, три раза и более. Воздействуя на делящуюся клетку химическими веществами, ионизирующим излучением, высокой или низкой температурой, можно прервать процесс расхождения хромосом к полюсам и тем самым добиться увеличения их числа в клетке. Полиплоиды обладают большей урожайностью, богаче питательными веществами и более устойчивы к неблагоприятным факторам среды. В настоящее время выведены полиплоиды гречихи, сахарной свёклы и других видов сельскохозяйственных и декоративных культур (рис. 61).

Известно, что в основе наследственной изменчивости лежат мутации. В естественных условиях достаточно сложно найти необходимую мутацию, на основе которой можно создать новые, более продуктивные и устойчивые к заболеваниям формы. С целью получения разнообразного материала для селекции успешно применяют ***искусственный мутагенез.***

? Что такое мутаген?

В качестве мутагенов, повышающих частоту возникновения наследственных изменений, обычно используют ультрафиолетовое и рентгеновское облучение, воздействие нейтронами или химическими веществами. Особенно широко искусственный мутагенез применяют в селекции микроорганизмов.

В последнее время быстрыми темпами развиваются методы, основывающиеся на последних достижениях в области генетики. Это позволяет создавать организмы с такими комбинациями наследственных признаков, которые не встречаются в природе.

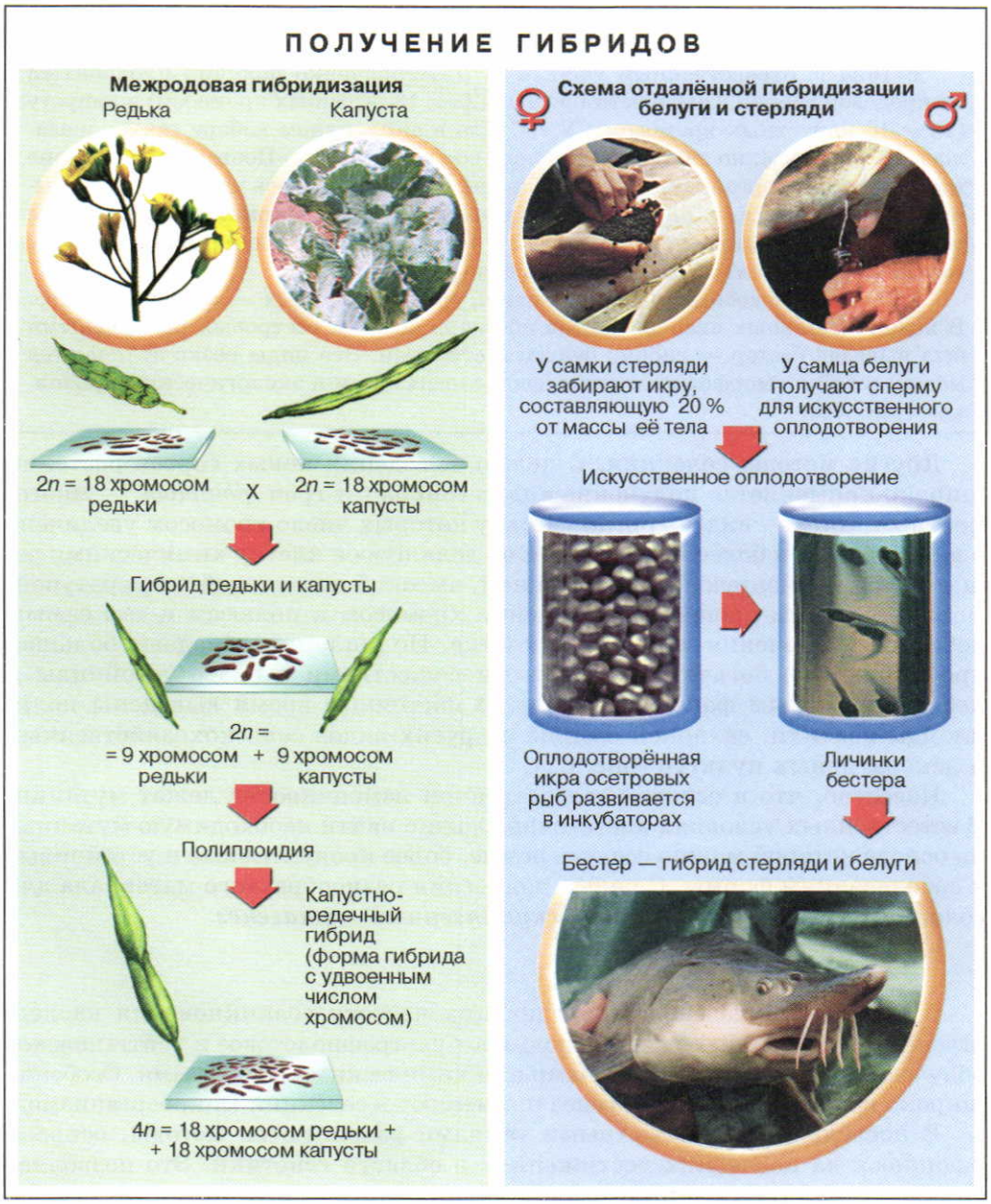


Рис. 60. Получение гибридов растений и животных

Рис. 61. Полиплоидия позволяет получить сорта с крупными цветками

Так, стало возможным конструирование клеток нового типа, «собираемых» из отдельных фрагментов (ядро, цитоплазма, хромосомы), принадлежащих разным клеткам. Культивируемые на питательных средах, такие гибридные клетки способны делиться, а у растений при определённых условиях из клетки можно сформировать полноценный организм (см. рис. 30). Подобным образом создают сорта растений, устойчивые к неблагоприятным условиям среды, болезням, получают безвирусный (не заражённый вирусами) посадочный материал.

Последние достижения генетиков в области манипулирования нуклеиновыми кислотами позволяют конструировать нужные генотипы организмов. Известно, что каждый вид растений, животных, микроорганизмов обладает своим гено́мом — совокупностью генов, характерных для гаплоидного набора хромосом каждого вида. Внедряя в геном растения нужный ген, например отвечающий за синтез ценного белка, можно улучшить пищевые свойства культуры. В ближайшем будущем благодаря подобным методам появятся сорта растений, обладающие новыми свойствами, устойчивые к сельскохозяйственным вредителям и ядохимикатам.

Не так давно возникла отрасль фармацевтической промышленности, названная «индустрией ДНК». ДНК, выделенную из клетки, например, человека, специальными ферментами разрезают на участки, каждый из которых содержит один ген. Такие кусочки сшивают с ДНК бактериофага, также используя для этого особые ферменты.

? Каковы особенности размножения вирусов?

Полученные гибридные молекулы ДНК содержат гены вируса и человека. Заражённая гибридным бактериофагом бактерия осуществляет синтез белка, контролируемого выделенным геном.

Таким образом, с помощью искусственно создаваемых комбинаций генов стало вероятным получение в лабораторных условиях многих природных соединений, широко применяемых в медицинских целях, например инсулина, интерферона, гормона роста человека, антибиотиков. Появилась возможность лечения заболеваний, ранее считавшихся неизлечимыми. Так, у человека при недостаточной выработке гипофизом гормона соматотропина развивается карликовость, которая характеризуется задержкой роста и физического развития. Искусственное введение гормона соматотропина в организм страдающего этим заболеванием ребёнка даёт возможность увеличить его рост.

С каждым годом всё заметнее достижения учёных в селекции микроорганизмов. В настоящее время в производстве необходимых человеку веществ особенно широко применяются бактерии и одноклеточные эукариоты. С помощью микроорганизмов получают высокоэффективные корма для скота, витамины, пищевые биодобавки. Многие бактерии используются в целях биологической очистки сточных вод, улучшения качества почвы, в сельском хозяйстве для борьбы с различными болезнями культурных растений.

Вопросы и задания

1. Охарактеризуйте гибридизацию как метод селекции.
2. Используя информацию, представленную на рис. 60, раскройте механизм получения межродовых гибридов. В чём плюсы и минусы отдалённой гибридизации?
3. Докажите, что использование полиплоидов в растениеводстве имеет ряд преимуществ.
4. Раскройте возможности искусственного мутагенеза как метода селекции.
5. Используя дополнительную биологическую литературу, а также ресурсы Интернета (www.membrana.ru, www.ru.wikipedia.org), докажите, что методы селекции, которые основываются на новейших достижениях генетики, имеют огромное практическое значение.
6. Найдите в Интернете (www.elementy.ru, www.ru.wikipedia.org, www.membrana.ru) и научно-популярной биологической литературе информацию о генномодифицированных организмах (ГМО) и подготовьтесь к дискуссии о положительных и отрицательных сторонах использования ГМО.

НАДОРГАНИЗМЕННЫЕ СИСТЕМЫ: ПОПУЛЯЦИИ, СООБЩЕСТВА, ЭКОСИСТЕМЫ

Популяции 152

Биологические сообщества 169

Экосистемы 197

Раздел III

ПОПУЛЯЦИИ

В предыдущих разделах учебника вы познакомились с клеточным и организменным уровнями организации жизни. Однако ни один организм не может существовать без взаимодействий с себе подобными: этого требует главное свойство любых форм жизни — стремление к размножению. Вот почему организмы всех видов в природе объединяются в определённые группировки со строго упорядоченными взаимоотношениями особей. Таким путём формируются системы надорганизменного уровня организации жизни — популяции и сообщества. Изучение таких систем — одна из задач науки экологии.

В этой главе речь пойдёт о закономерностях организации популяций — территориальных группировок особей, принадлежащих к одному виду.

§ 32. Основные свойства популяций

Что представляет собой популяция и каковы её основные свойства?

Обособленность популяций и их взаимосвязь. В природе организмы всех видов существуют в форме популяций. ***Популяции*** (от лат. *populus* — население, народ) — это территориальные, т. е. пространственно обособленные, группировки особей одного вида. Между популяциями разного размера существует строгое соподчинение — небольшие местные популяции входят в состав более крупных географических популяций. Все географические популяции объединены в популяцию высшего ранга — популяцию вида. Поэтому любой вид — это большая популяция. Человек как биологический вид тоже существует в форме популяций.

Взаимодействия особей внутри популяций называют ***внутривидовыми***. Поиск и встреча брачных партнёров, забота родителей о потомстве и обучение молодёжи навыкам добывания корма, соперничество за необходимое для жизни пространство, совместная защита от хищников или охота — это лишь некоторые примеры взаимодействий между особями внутри популяций. Такие взаимодействия обеспечивают смену поколений, и существование вида становится непрерывным. Например, у сурков длительность существования отдельных поселений в пределах популяции составляет 8—9 тыс. лет (рис. 62).

Рис. 62. Отдельное поселение сурков

Итак, важной причиной формирования территориальных группировок организмов служит их стремление к размножению. Другая причина — это неоднородность условий среды обитания. В пределах *ареала* (области распространения) вида места с благоприятными условиями для жизни всегда перемежаются с малопригодными или непригодными для существования организмов территориями. Поэтому пространства с плотными, многочисленными поселениями чередуются с участками, где поселения организмов разреженны, малочисленны или отсутствуют вовсе. Популяции оказываются частично обособленными одна от другой. Разобщению популяций способствуют также физические барьеры, например крупные реки или горные хребты. Они зачастую серьёзно препятствуют перемещению организмов на соседние территории, а значит, и обмену особями между популяциями. Это приводит к тому, что взаимодействия между особями, принадлежащими к одной популяции, происходят чаще, чем между особями из соседних популяций. Следовательно, каждая популяция приобретает частичную генетическую обособленность.

Связь между популяциями обеспечивается у животных расселением, сезонными миграциями, а у растений — распространением семян и спор. Чем более однородна среда и чем выше подвижность организмов, тем больше обмен особями между популяциями и тем сильнее размыты границы между ними.

Так, популяции разных видов рыб, обитающих в многочисленных озёрах дельты Волги, большую часть года полностью изолированы друг от друга. Обмен особями между популяциями возможен лишь эпизодически во время

Рис. 63. У соек из разных географических популяций хорошо заметны различия в окраске оперения

весеннего половодья, когда затапливаются обширные пространства между озёрами и рыбы могут перемещаться из одного озера в другое. У сойки, имеющей обширный сплошной ареал в пределах лесной зоны Европы, напротив, границы между популяциями размыты. Между соседними популяциями

этих птиц происходит постоянный, правда ограниченный, обмен особями. Межпопуляционные различия соек отражаются в окраске оперения (рис. 63). Хотя птицы из разных географических популяций в целом хорошо различаются по внешним признакам, те сойки, что обитают в зонах популяционных границ, имеют промежуточные варианты окраски оперения.

Внешние различия членов разных популяций могут отражать очень важное явление — приспособленность популяций к местным условиям обитания: климату, растительности, характеру пищи и т. д. Наиболее ярко межпопуляционные различия проявляются у видов с обширным ареалом, в разных частях которого условия обитания неодинаковы. Примерами таких видов могут служить бурый медведь и обыкновенная лисица (рис. 64).

Численность и плотность популяции служат важными её характеристиками. ***Численность*** популяции — это суммарное число составляющих её особей. Знание численности популяции важно для оценки и прогноза её состояния. Высокая численность свидетельствует о процветании популяции. Обычно процветающие популяции птиц и млекопитающих вклю-

Рис. 64. Вид обыкновенная лисица состоит из нескольких популяций

чают десятки тысяч и более особей. Низкая численность популяции часто указывает на то, что условия для существования вида неблагоприятны и ему угрожает исчезновение. Все вымирающие популяции имеют низкую численность и в целях охраны занесены в Красную книгу (рис. 65, 66).

Численность популяций в природе выяснить очень сложно. Обычно для этого используют такой показатель, как ***плотность***. Плотность выражают в числе особей, приходящихся на единицу площади ($м^2$, га, $км^2$) или объёма (л, $м^3$). Например, плотность популяции рыжей полёвки, самого обычного грызуна лесов Средней России, варьирует от 5 до 40 особей на 1 га. Зная плотность популяции в различных местообитаниях и долю каждого из местообитаний в ареале популяции, можно рассчитать численность всей популяции. Кроме того, данные о плотности позволяют количественно сравнивать разные популяции, не прибегая к выяснению их численности.

Для успешного размножения многих животных необходимо, чтобы плотность популяции достигала определённой величины (рис. 67).

Численность и плотность популяций с течением времени не остаются неизменными.

Рождаемость и смертность — главные процессы, от соотношения которых зависит, будет ли численность популяции расти, сокращаться или оставаться стабильной. Рождаемость — это число особей, которое появилось в популяции за определённый отрезок времени (месяц, год). Смертность — это число особей, которое погибло в популяции за аналогичный отрезок времени. На изменение численности популяции могут влиять также процессы *иммиграции* (вселения) и *эмиграции* (выселения).

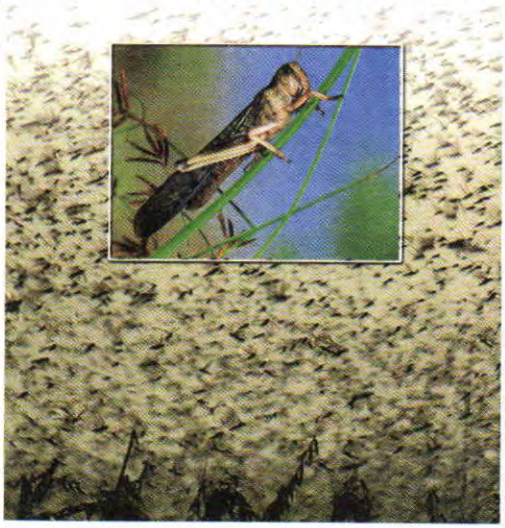
Структура популяции. Популяцию можно подразделить на части, исходя из неравноценности особей по каким-то признакам: по возрасту (молодые и старые), полу (самцы и самки), особенностям размещения в пространстве, социальному рангу (лидеры и подчинённые), поведению. Соотношение таких частей называют структурой популяции. Соответственно, говорят о возрастной и половой, пространственной, социальной, этологической (поведенческой) ***структуре популяции***.

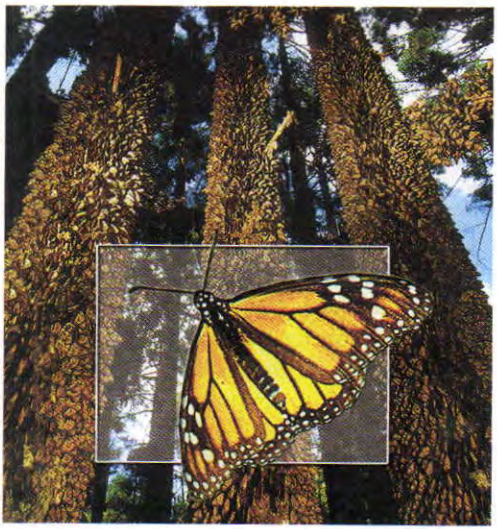
В разных частях ареала, а значит в разных условиях среды, структура популяций одного и того же вида может быть различной. Например, в тайге Среднего и Южного Урала популяции лесного лемминга состоят примерно из равного числа самцов и самок. В популяциях, обитающих у северной границы лесной зоны, самок втрое больше, чем самцов. Преобладание самок в северных популяциях позволяет животным быстрее размножаться и восстанавливать численность, компенсируя высокую гибель в условиях очень сурового климата.

Рис. 65. Виды растений, популяции которых малочисленны, занесены в Красную книгу

Рис. 66. Некоторые виды животных, которым угрожает исчезновение

ЧИСЛЕННОСТЬ И ПЛОТНОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ





Плотность популяций саранчи и бабочки монарха в периоды миграций достигает нескольких тысяч особей на гектар

Некоторые виды чаек размножаются лишь при высокой плотности популяции

Рис. 67. Численность и плотность — важные характеристики популяции

Структура популяций изменяется также на разных этапах годового цикла. Большинство воробьиных птиц, например синицы и поползни, в период размножения, т. е. весной и летом, обитают на охраняемых гнездовых участках — территориях. Осенью, когда птенцы уже могут хорошо летать и самостоятельно добывать себе пищу, птицы с двух или трёх соседних территорий объединяются в стаи, которые сохраняются до следующей весны. Такая перестройка пространственной структуры повышает жизнеспособность популяций. Охрана гнездовых территорий нужного размера гарантирует обеспеченность выводка пищей, а стайный образ жизни осенью и зимой помогает легче обнаружить корм и защититься от хищников.

Таким образом, особенности структуры популяции связаны с условиями её обитания и носят приспособительный характер. Упорядоченность взаимоотношений особей в популяции и приспособительная перестройка её структуры в соответствии с изменениями условий обитания указывают на то, что популяция — это надорганизменная система.

Вопросы и задания

1. Объясните значение терминов «популяция», «численность популяции», «структура популяции».
2. Укажите причины формирования в природе внутривидовых территориальных группировок (популяций).
3. Используя информацию, представленную на рис. 63, определите, какие особи из представителей разных популяций соек наиболее отличаются между собой по окраске оперения. Каковы причины таких различий?
4. Выявите взаимосвязь между условиями среды и структурой популяции.
5. На рис. 65 и 66 изображены виды растений и животных, численность популяций которых находится на очень низком уровне. Изучите Красную книгу своей местности и подготовьте презентацию о редких и исчезающих видах, особенностях их биологии, ареале произрастания (местообитания). Предложите меры по охране и восстановлению популяций редких и исчезающих видов своей местности.

§ 33. Возрастная и половая структуры популяции

В силу каких особенностей популяция представляет собой надорганизменную систему?

Популяции любых организмов состоят из особей разного возраста и пола (если речь идёт об организмах с половым размножением). Часто половую и возрастную структуры популяции рассматривают совместно, тогда говорят о демографической структуре популяции. *Демография* — наука о состоянии и развитии популяций (от греч. *dēmos* — народ, *graphō* — пишу). Важные задачи демографии — описание и анализ полового и возрастного состава

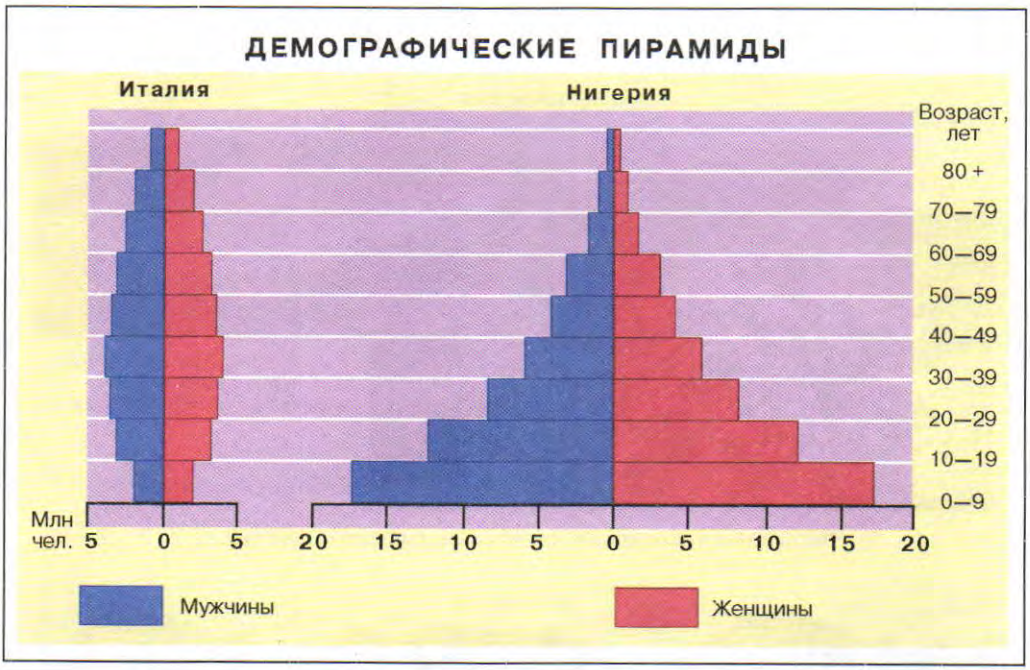


Рис. 68. Демографические пирамиды населения разных стран

населения. Графическое изображение соотношения особей разного возраста называется ***возрастной пирамидой***, а если отражено также соотношение особей разного пола — ***демографической пирамидой*** (рис. 68). Знание демографической структуры популяций позволяет прогнозировать изменение численности разных организмов, что очень важно для сельского хозяйства, охотничьего дела, охраны редких видов животных и растений.

Возрастная структура популяции. Характер возрастной структуры популяции связан с биологическими особенностями вида, стадией жизненного цикла, условиями внешней среды. Самая простая возрастная структура свойственна популяциям организмов с однократным размножением и короткой продолжительностью жизни. Таковы однолетние травы, например марьянник дубравный (иван-да-марья) или ромашка лекарственная, широко распространённые в средней полосе России (рис. 69).

В первой половине мая можно видеть только молодые растения, в конце мая — июне начинается их цветение, а с середины лета до осени на ещё цветущих растениях созревают семена. В октябре отцветшие и сбросившие

Рис. 69. Популяции с простой и сложной возрастной структурой

семена растения погибают. Таким образом, популяции этих видов в любой период времени представлены особями одного поколения и возраста. Поколение — это все потомки, появившиеся в популяции одновременно.

Аналогично простая возрастная структура популяции характерна для многих однолетних трав степей и пустынь, а также для популяций некоторых рыб и ракообразных, обитающих во временных полностью пересыхающих водоёмах.

У организмов с многократным размножением и относительно большой продолжительностью жизни возрастная структура намного сложнее (см. рис. 69). В таких популяциях одновременно представлены особи разных поколений. Любая популяция травяной лягушки весной состоит из неполовозрелых и готовых к размножению животных разного возраста. В начале лета часть популяции представлена также личинками (головастиками). В середине лета, когда заканчивается метаморфоз, популяция включает лягушек нового и прежних поколений.

Как видим, возрастная структура популяции закономерно изменяется с течением времени, что связано с периодичностью размножения.

Изменения возрастной структуры популяции могут быть связаны также с влиянием условий среды.

Риск погибнуть от неблагоприятных факторов внешней среды у популяции с простой возрастной структурой очень велик. Неожиданное похолодание или засуха могут вызвать массовую гибель организмов на ранних стадиях развития, когда они очень уязвимы. Такая популяция может выжить только благодаря огромной плодовитости, что обеспечивает выживание хотя бы части потомства.

Популяция со сложной возрастной структурой не столь чувствительна к массовой гибели потомков одного поколения, так как в ней всегда есть запас способных к размножению особей старших поколений, которые в следующий сезон размножения обеспечат воспроизводство. Сложная возрастная структура обеспечивает популяции большую устойчивость по отношению к неблагоприятным факторам окружающей среды.

Как видно, возрастная структура популяции связана с рождаемостью и смертностью, а возрастные пирамиды отражают соотношение этих процессов. Если рождаемость превосходит смертность, то доля молодых особей велика. Численность такой популяции растёт, а возрастная пирамида имеет широкое основание и узкую вершину. Возрастные пирамиды с узким основанием характерны для популяций, численность которых сокращается. Эти закономерности свойственны и для популяций человека.

Половая структура популяции отражает соотношение числа самцов и самок. Это соотношение обычно различно среди особей разных возраст-

ных групп. Таким образом, половая структура популяции тесно связана с её возрастной структурой. В популяциях позвоночных животных, в том числе и человека, число самцов и самок примерно одинаково, однако среди детёнышей и неполовозрелых особей самцов несколько больше, чем самок. Это соотношение выравнивается ко времени готовности к размножению, а среди старых особей доля самок становится несколько больше. Такое изменение половой структуры связано с более высокой смертностью самцов, чем самок. Известно, что самцы более подвижны, а следовательно, более заметны и доступны для хищников. Кроме того, самцы более агрессивны и чаще вступают в ожесточённые драки, например во время брачных турниров или при охране или захвате индивидуальной территории. Это порой ведёт к травмам и гибели.

Что такое партеногенез?

В популяциях животных, способных к партеногенетическому размножению, когда эмбрионы развиваются из неоплодотворённых яиц, по численности преобладают самки. Примерами могут служить палочники и тли. Причём у тлей из перезимовавших яиц выходят только самки, так что с весны до середины лета популяции полностью представлены бескрылыми самками 3—4 поколений. Самцы и самки с крыльями появляются только в конце лета, когда и происходит половое размножение. Осенью взрослые насекомые погибают, а оплодотворённые яйца сохраняются до следующей весны. Партеногенетическое размножение позволяет популяциям тлей исключительно быстро наращивать численность в течение лета и таким образом компенсировать гибель яиц в зимний период.

Рис. 70. Самец и самка ястреба-тетеревятника

Отметим, что особи разного пола или разных возрастных групп нередко обитают в неодинаковых условиях и потребляют разную пищу. Это особенно ярко проявляется у животных с личиночной стадией развития. Головастики травяной лягушки обитают в водоёмах и кормятся растительной пищей, а взрослые лягушки большую часть времени проводят на суше среди сырой травы, где охотятся на жуков и прочих беспозвоночных животных. У ястреба-тетеревятника самки

намного крупнее самцов, поэтому они охотятся на более крупных птиц — голубей и фазанов, в отличие от самцов, в добыче которых преобладают мелкие лесные птицы (рис. 70).

Различия в экологических связях между особями разного пола и возраста способствуют устойчивости популяции, поскольку снижают вероятность конкуренции, т. е. соперничества за какой-то конкретный ресурс.

Вопросы и задания

1. Объясните значение термина «демография».
2.* Используя знания по генетике, объясните, благодаря чему в популяции поддерживается соотношение самцов и самок, близкое к соотношению 1:1. Какие причины способствуют изменению такого соотношения полов?
3. Выявите взаимосвязь между биологическими особенностями вида и характером возрастной структуры популяций.
4. Покажите, как в течение года меняется половая структура популяций видов, размножающихся партеногенетически. Какова биологическая роль партеногенеза?
5.* Докажите, что различия в экологических связях между особями разного пола и возраста благотворно сказываются на численности популяции. Ответ проиллюстрируйте примерами.

§ 34. Изменения численности популяций

Какие факторы влияют на численность популяций?

Саморегуляция популяций. Закономерности роста численности популяций впервые установил русский эколог Г. Ф. Гаузе. В лабораторном аквариуме быстрый рост численности инфузории-туфельки происходил только в течение короткого промежутка времени. С определённого момента рост численности замедлялся, а достигнув определённой плотности, численность популяции стабилизировалась (рис. 71). Ограничение роста популяции микроорганизмов было вызвано накоплением в окружающей среде продуктов обмена веществ. Это тормозило скорость деления клеток.

Таким образом, ограничение роста популяции обусловлено влиянием особей друг на друга, т. е. внутривидовыми взаимоотношениями. Внутривидовые взаимодействия — важный механизм ограничения плотности и численности популяций. Увеличение плотности ведёт к замедлению роста численности, а снижение плотности, наоборот, способствует росту популяции. Итак, популяция обладает способностью к саморегуляции, что позволяет считать популяцию сложной надорганизменной системой.

Роль внутривидовых отношений в регуляции плотности популяций очень велика. В популяциях растений можно наблюдать подавление роста

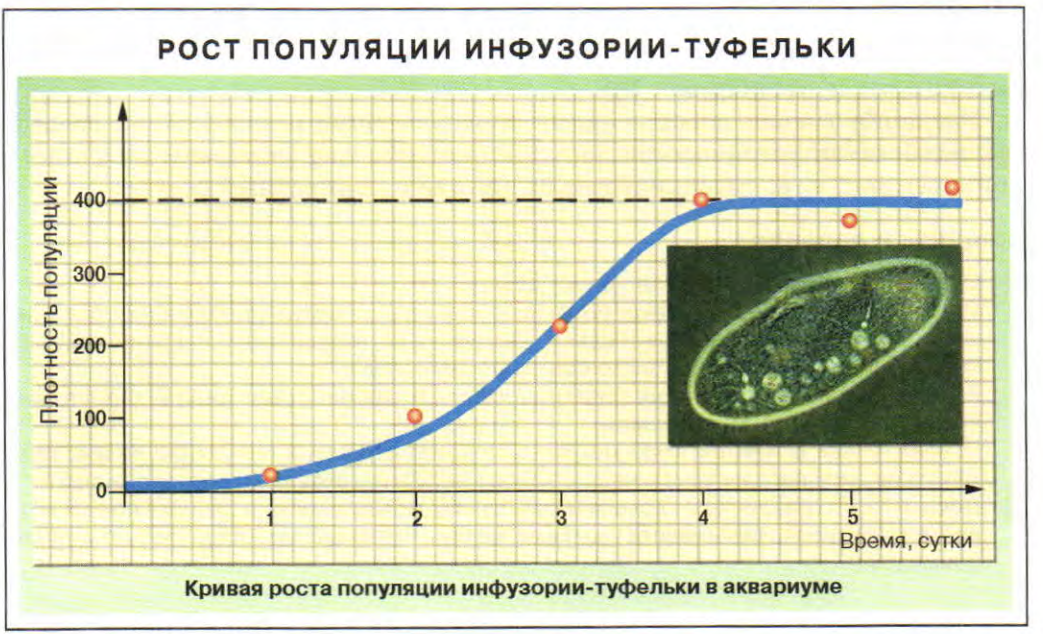


Рис. 71. Закономерности роста численности популяции инфузории-туфельки, экспериментально установленные Г. Ф. Гаузе

Для любознательных

У высокоорганизованных животных важную роль в ограничении плотности популяций играет ***территориальное поведение***, когда отдельные особи или их группы не допускают представителей своего вида на охраняемый участок *территории*.

Животные прибегают к разнообразным способам обозначения границ территории. Многие кошачьи, псовые и куньи оставляют пахучие метки, используя для этого выделения специальных желёз или мочу. Медведи и пумы когтями делают задиры коры на стволах деревьев. Одна из важнейших функций пения птиц — обозначение границ территории. Хозяева территорий регулярно патрулируют её границы и изгоняют вторженцев, порой вступая в ожесточённые драки. Некоторые территориальные животные, например пумы и бурундуки, перемещаются по территории, избегая встречи с соседом, чтобы уменьшить риск физического конфликта.

Территориальность взрослых животных — это основная причина эмиграции молодняка и снижения плотности популяции после очередного размножения.

молодых растений со стороны старых. Например, в старых ельниках или дубравах, несмотря на обилие ежегодно появляющихся семян и проростков, не происходит увеличения плотности, так как молодые растения гибнут из-за недостатка освещения. Только после выпадения части деревьев из-за старости или в результате ветровала молодые растения получают возможность нормального роста и плотность популяции восстанавливается.

В природных популяциях беспредельного роста популяций никогда не происходит. Это могло бы привести к полному истощению ресурсов и к гибели всей популяции.

Часто главный ресурс, от которого зависит предельная плотность популяций животных, — это пища. Для серых полёвок — мелких грызунов, обитающих на лугах и питающихся сочными частями стеблей злаков, таким ресурсом служит злаковая растительность.

Плотность популяций некоторых лесных птиц, таких как мухоловка-пеструшка или синица-гаичка, зависит в первую очередь от количества дупел (например, сделанных дятлами), используемых птицами для выведения птенцов. Развешивая искусственные гнездовья (дуплянки, синичники, скворечники), можно увеличить численность многих видов птиц.

Ограничение численности популяций в природе. Хотя способность к саморегуляции присуща большинству популяций, это вовсе не значит, что в природе их численность ограничивается только внутривидовыми взаимоотношениями. Это свойственно в основном крупным и хищным млекопитающим, а также птицам — животным со сложными популяционной структурой и поведением. Они способны благополучно переживать кратковременные ухудшения условий жизни — жару, морозы, засуху. Их численность в основном зависит от обилия пищи и относительно стабильна — она не может увеличиться в разы (рис. 72).

В противоположность этому численность очень многих природных популяций ограничивается главным образом не внутривидовыми взаимоотношениями, а другими факторами внешней среды: неблагоприятными погодными условиями, заболеваниями, хищниками и паразитами.

Популяции, в которых регулярно гибнет значительная часть особей, обладают высокой плодовитостью и способны к быстрому росту. Это свойственно мелким млекопитающим: мышам, полёвкам, землеройкам, которые умирают от болезней и холода зимой, а также насекомым, которых уничтожают зимние холода и хищники — землеройки, птицы, пауки. Численность таких популяций обычно не ограничена пищевыми ресурсами, а механизмы саморегуляции численности не развиты. Биотические связи в форме ***межвидовых взаимодействий*** служат главным фактором, регулирующим их численность.

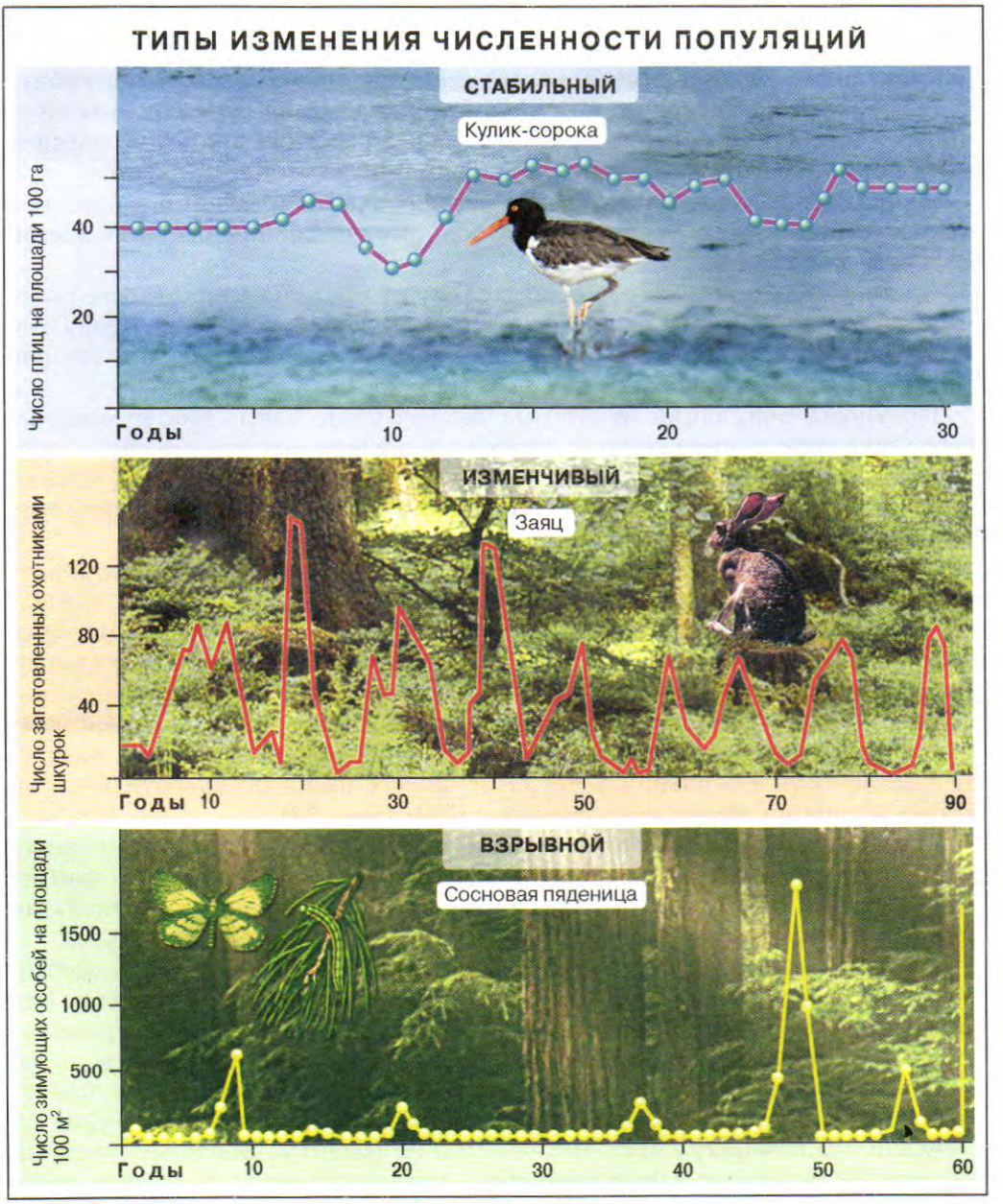


Рис. 72. Различные типы изменения численности популяций в природе

Обычная причина массовой гибели мелких грызунов при высокой плотности популяции — вспышка инфекционных заболеваний. В результате численность животных резко падает. Затем в течение некоторого периода происходит рост популяции, а следующая вспышка заболеваний снова вызывает падение численности. В таких случаях численность популяций изменчива — она меняется в десятки раз (см. рис. 72).

Когда численность популяций меняется в сотни и тысячи раз, говорят о взрывах численности. Примером могут служить сосновая пяденица и сибирский коконопряд — бабочки таёжных лесов (см. рис. 72). Обыкновенно около 90 % яиц бабочек поражаются паразитами-яйцеедами, что и сдерживает рост их численности. Однако в наиболее сильные морозы значительная часть паразитов не выживает. Поэтому массовое появление гусениц, которые питаются хвоей, происходит после морозных зим. Вспышки численности сибирского коконопряда иногда приводят к гибели хвойных деревьев на огромной площади.

Таким образом, изменения численности природных популяций связаны с биологическими особенностями видов и характером факторов, которые контролируют численность этих популяций.

Вопросы и задания

1. Используя информацию, представленную на рис. 71, объясните, как свойство саморегуляции проявляется в популяции инфузории-туфельки.
2. Объясните, почему в природе не происходит беспредельного роста численности популяции.
3. Охарактеризуйте факторы, препятствующие росту численности природных популяций.
4. Почему в сообществах, созданных человеком (сады, поля), чаще происходят вспышки численности насекомых-вредителей, чем в природных сообществах? Ответ аргументируйте.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СООБЩЕСТВА

В любой точке планеты, где существует жизнь, обитают организмы разных видов растений, животных, грибов и бактерий. Популяции разных видов в природе находятся в постоянном взаимодействии — соперничают за пространство для жизни, формируют условия обитания и служат пищей друг для друга. В результате длительной эволюции в условиях совместного существования на Земле образовались сложно и строго организованные комплексы взаимодействующих популяций — биологические сообщества. Они представляют собой системы более высокого, чем популяции, уровня надорганизменной организации жизни.

§ 35. Биоценоз, его структура и устойчивость

В силу каких особенностей биоценоз — сложная система?

Понятие биоценоза. ***Биологическое сообщество***, или ***биоценоз*** (от греч. *bios* — жизнь и *koinos* — общий), — сложная система совместно живущих и взаимодействующих популяций разных видов. Иными словами, каждый биоценоз представляет собой пространственно обособленную группировку взаимосвязанных популяций. Осиновый лес, дубрава, степь, болото — это примеры сообществ (рис. 73, 74). Впервые учение о биоценозах обосновал немецкий учёный К. Мёбиус.

Поскольку биоценоз слагается из популяций, он, как и популяции, представляет собой форму надорганизменной организации жизни. Как и любая система, сообщество обладает структурой и устойчивостью. Структура биоценоза — это строгий порядок во взаимоотношениях его элементов — популяций. Устойчивость биоценоза представляет собой способность системы поддерживать определённую структуру.

Любой биоценоз формируется в пространстве с однородными условиями среды, которые задаются определённым сочетанием абиотических факторов, главные из них — свет, температура, влажность, почва.

Подобно популяциям разного масштаба, сообщества разного ранга находятся в соподчинении: небольшие биоценозы входят в состав более крупных. Сообщество разрушающегося пня может быть частью сообщества лесной поляны, которая, в свою очередь, — частью более крупного лесного сообщества. Самые крупные сообщества, такие как тундра, тайга, степь, пустыня, саванна, тропический лес, характеризуются определённым типом растительности, населения, животных и климата.

Разные виды в результате длительной эволюции приспособились к совместному существованию в сообществе (рис. 74). Они постоянно взаимодействуют, создавая среду друг для друга и контролируя численность популяций. Именно биотические связи поддерживают целостность сообщества.

Основу любого сообщества формируют популяции растений. Будучи автотрофными организмами, растения создают органическое вещество, которое служит пищей для животных и грибов. Пищевые связи — главная форма взаимодействий между популяциями в сообществе.

Пространственная структура биоценоза. Практически в любом сообществе существуют группы растений разной высоты, формируя ***вертикальную структуру биоценоза — ярусность***. В качестве примера рассмотрим сообщество широколиственного леса (рис. 75). Широколиственные леса, ранее широко распространённые в Европе, в XVII в. были в значительной мере вырублены. В России широколиственные леса сохранились в Среднем Поволжье, Тульской и Курской областях, а также на Дальнем Востоке.

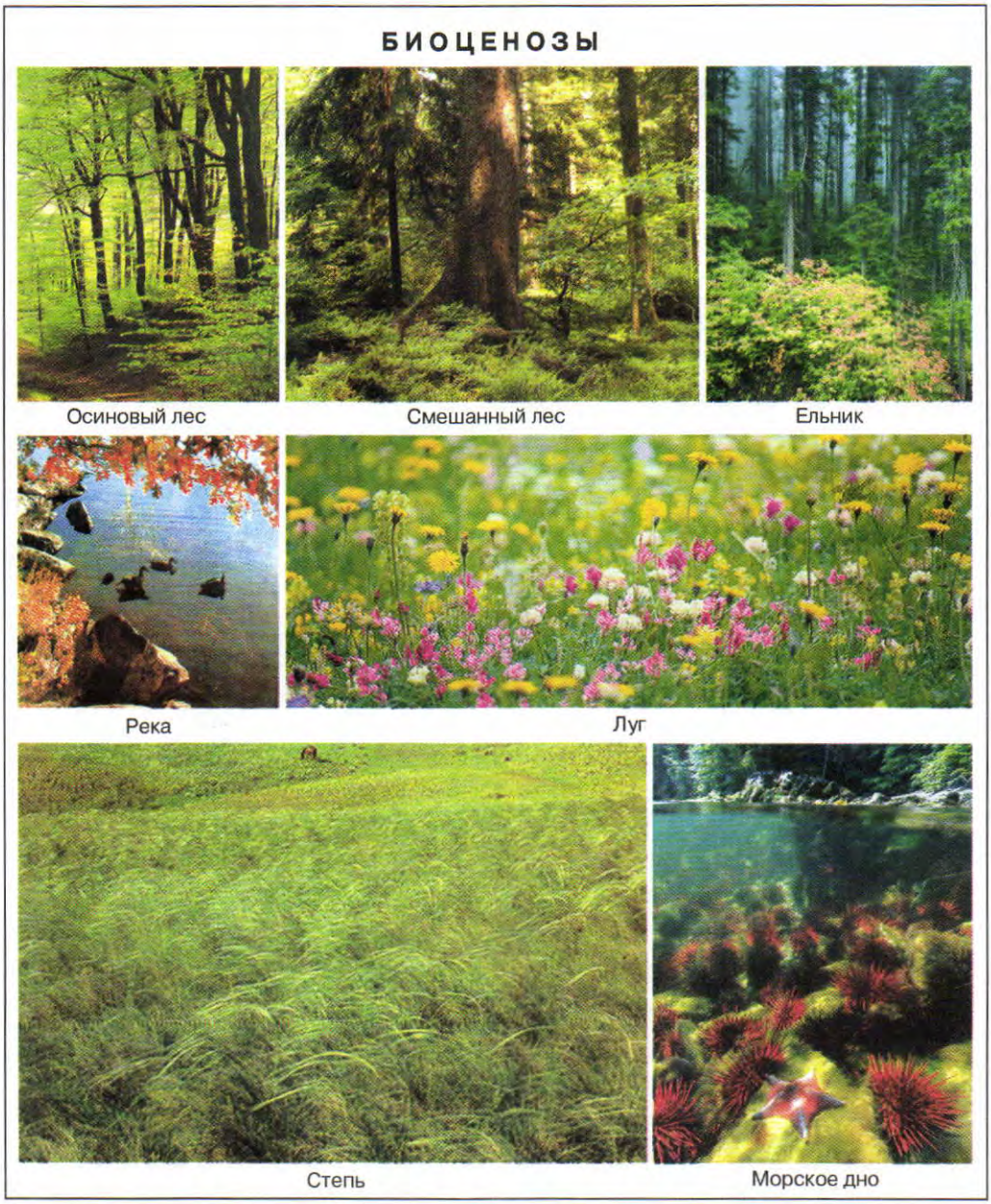


Рис. 73. Примеры сообществ

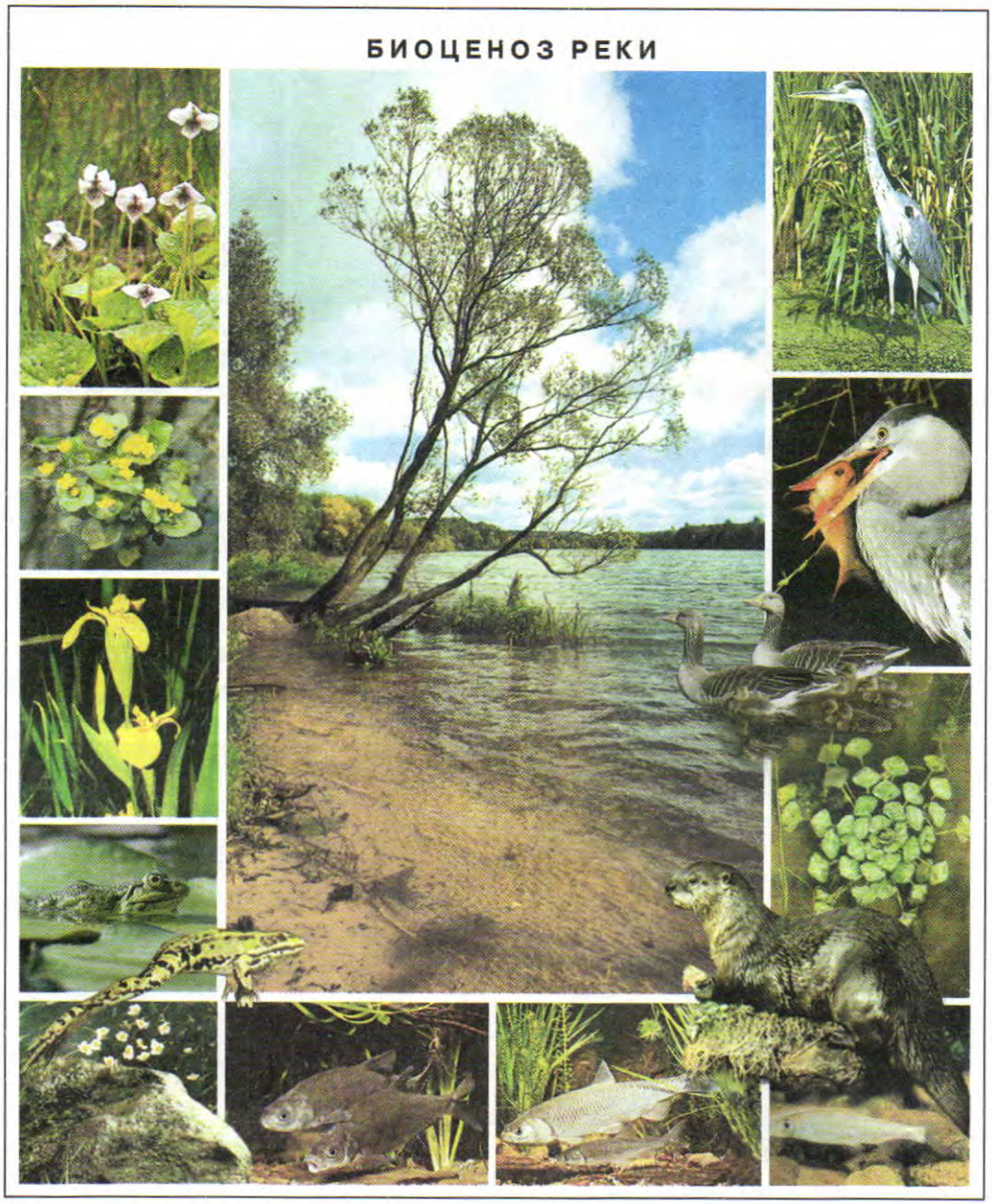


Рис. 74. Целостность сообщества реки поддерживают биотические связи между популяциями разных видов

Наиболее высокие деревья с высокорасположенными кронами и полностью освещённые солнцем: дуб, липа, ясень, вяз — формируют первый (верхний) ярус. Листва этих деревьев поглощает более половины энергии солнечного света.

Ниже располагается второй ярус. Это сравнительно невысокие деревья: дикая яблоня, дикая груша, клён, рябина, черёмуха, которые поглощают определённую часть света, прошедшего сквозь верхний ярус растительности.

Третий ярус сформирован кустарниками: орешником (лещиной), бересклетом бородавчатым, бузиной, калиной. Кустарники приспособлены к сравнительно слабому освещению, так как не более 10 % энергии солнечных лучей проходит сквозь верхние два яруса.

Четвёртый ярус растительности сформирован разнообразными травами. Это, например, фиалка, ландыш, земляника, папоротники, иван-да-марья, гравилат, герань, таволга. Травы используют оставшуюся часть энергии Солнца, так что лишь 1 % прямого солнечного света достигает почвы. В местах с избыточным увлажнением можно выделить и пятый ярус растительности, представленный мхами.

Растения каждого яруса приспособлены к определённому уровню освещённости и микроклимату, причём эти условия для них оптимальны.

Животные также неодинаково используют разные высотные уровни (рис. 75). Пауки-волки, многоножки, жужелицы, слизни, дождевые черви связаны в своей жизнедеятельности с почвой, лесной подстилкой и травяным ярусом. Жуки-бронзовки, тли, многие бабочки и мухи-журчалки кормятся на цветках и листьях высоких трав и кустарников. Гусеницы многих бабочек: боярышницы, траурницы, углокрыльницы, непарного шелкопряда, дубового коконопряда — живут в листве деревьев и кустарников, осваивая более высокие ярусы растительности. Такие мелкие млекопитающие, как лесные мыши и землеройки, кормятся на поверхности почвы и в травяном ярусе. Типичный житель широколиственных лесов — соня-полчок живёт в основном на деревьях и кустарниках. Этот зверёк питается желудями, орехами и сочными плодами, а гнёзда устраивает в дуплах.

Из-за неоднородности микрорельефа в сообществе возникает неоднородность в распределении растений в горизонтальной плоскости. На небольших возвышениях ближе к стволам деревьев, где почва обычно более сухая и рыхлая, растут более сухолюбивые травы: фиалка, ландыш, земляника, иван-да-марья, медуница. Во влажных понижениях образуются заросли гравилата, таволги, папоротников. Таким образом формируется ***мозаичность*** растительного покрова, отражающая ***горизонтальную структуру биоценоза***.

Следовательно, в сообществе существует закономерное распределение видов в пространстве.

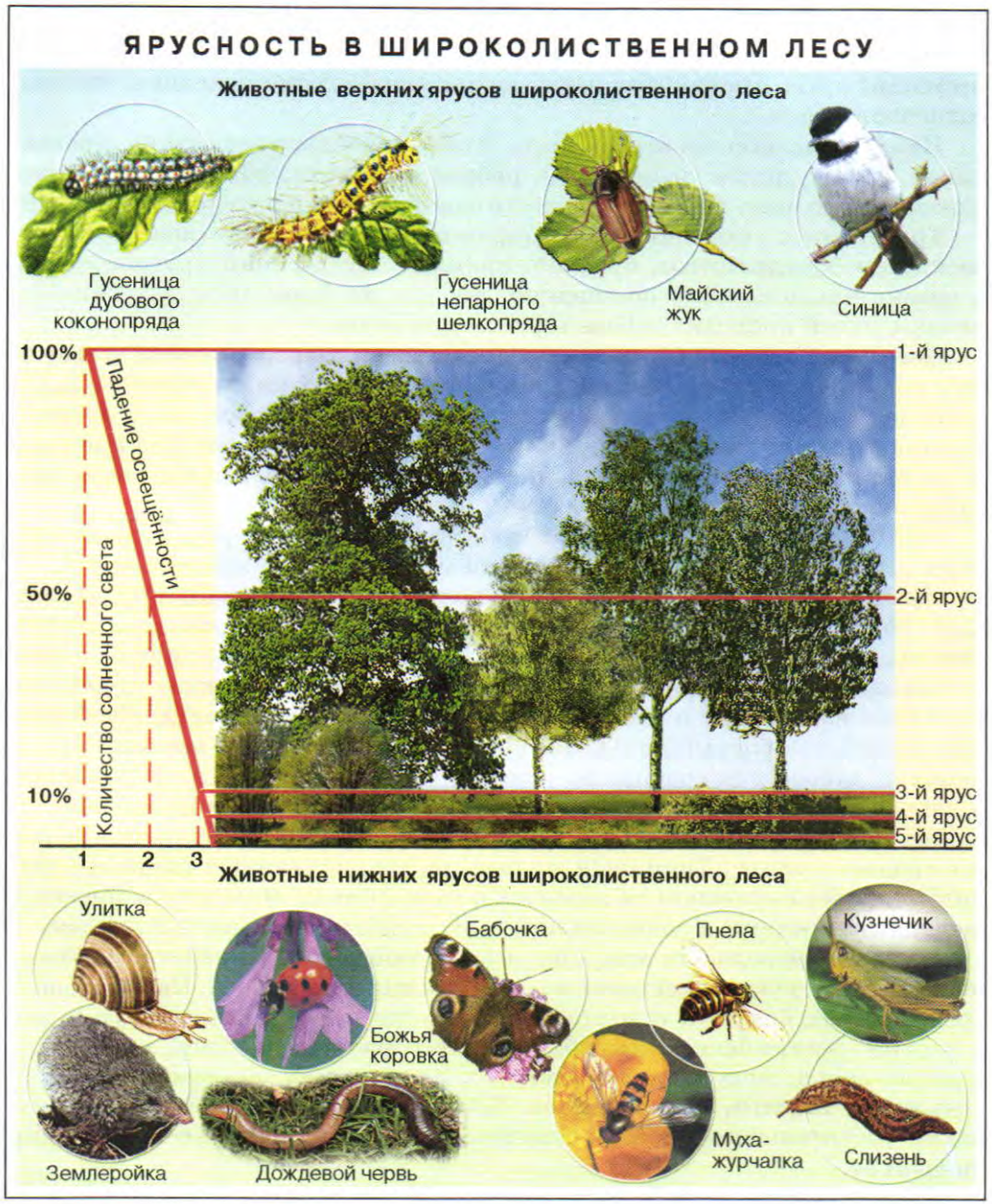


Рис. 75. Вертикальная структура сообщества широколиственного леса

Видовая структура биоценоза. Природные сообщества образованы сотнями и тысячами видов. Самые богатые видами сообщества — это тропические леса. В тропических лесах, которые занимают лишь 6 % площади суши, обитает около половины всех известных в настоящее время видов, т. е. около 800 тысяч. Самые бедные видами сообщества — это пустыни.

Помимо общего числа видов сообщества характеризуются количественным соотношением видов — ***видовой структурой***. Обычно численно преобладают лишь немногие виды, которых называют ***видами-доминантами***. Остальные виды, которых в сообществе большинство, малочисленны. Выше при рассмотрении вертикальной структуры биоценоза были названы некоторые многочисленные виды широколиственных лесов.

Массовые виды определяют главные связи в сообществе, его микроклимат, формируют структуру и характерный облик сообщества. Массовые виды — важные ***средообразователи***. В европейских таёжных лесах главный вид-средообразователь — ель европейская (рис. 76). В старых еловых лесах кроны деревьев поглощают так много света, что ниже не растут ни другие деревья, ни кустарники. Недаром европейские таёжные леса называют темнохвойными в противоположность сибирским светлохвойным, в которых преобладает лиственница сибирская.

Травяной ярус также представлен немногими низкорослыми видами: кислицей, майником двулистным, папоротником-голокучником Линнея, мхами. Опавшая хвоя при разложении закисляет почву и препятствует росту многих видов растений. С елью связана жизнь абсолютного большинства животных — от мелких членистоногих лесной подстилки до птиц и млекопитающих, поедающих семена ели.

Если состояние древостоя нарушается, например в результате рубок, облик и видовой состав сообщества сильно меняются. Зарастающие вырубки, которые возникли на месте старых ельников, изобилуют разнообразными высокими травами и лиственными деревьями, в первую очередь берёзой.

Таким образом, исчезновение видов-средообразователей ведёт к нарушению главных биотических связей и как следствие — к смене сообществ. Устойчивость биоценоза как системы напрямую зависит от сбалансированности биотических связей, обусловленных в первую очередь видами-доминантами.

Человек для своих нужд создаёт сельскохозяйственные биоценозы — ***агроценозы*** (рис. 77). В отличие от природных сообществ агроценозы характеризуются бедным видовым составом организмов и соответственно более простой структурой и несбалансированными биотическими связями. Поэтому без затрат энергии со стороны человека (вспашка полей, внесение удобрений, дополнительный полив) агроценозы не способны устойчиво существовать.

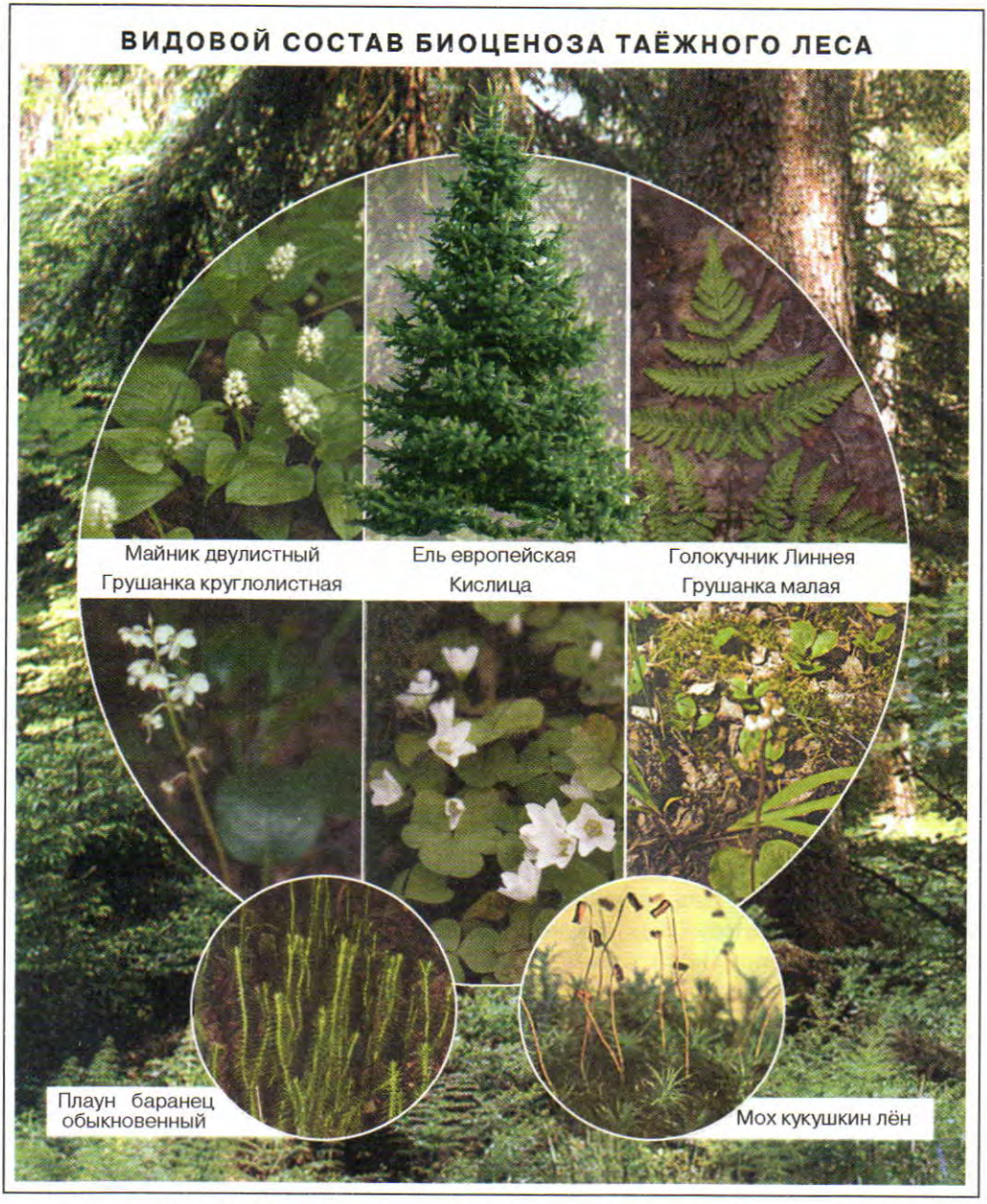


Рис. 76. Видовая структура сообщества европейской тайги

Рис. 77. Агроценоз плодового сада характеризуется бедным видовым составом

Вопросы и задания

1. Объясните значение термина «биоценоз». Охарактеризуйте свойства биоценоза.
2. Используя информацию, представленную на рис. 75, охарактеризуйте, как в растительном сообществе леса меняется освещённость от первого к последующим ярусам. Какие ярусы представлены светолюбивыми, а какие — теневыносливыми видами? Где наиболее распространены ветроопыляемые, а где — насекомоопыляемые растения? Имеется ли взаимосвязь между ярусом произрастания вида растения и способом распространения плодов и семян, характерных для него? Ответ аргументируйте.
3. Объясните, от чего зависит видовая структура биоценоза.
4. Докажите, что агроценозы не способны устойчиво существовать без вмешательства человека.
5. Составьте описание биоценоза (см. задание 7 в разделе «Темы для исследования и проектной деятельности» в конце учебника).

§ 36. Разнообразие биотических связей в сообществе

В чём проявляется взаимодействие популяций разных видов в сообществе?

Популяции разных видов, образующих сообщество, всегда прямо или косвенно взаимодействуют друг с другом.

Ещё в середине XIX в. английский учёный Ч. Дарвин, изучая взаимоотношения животных и растений, предположил, что численность кошек в сельской местности и обилие клевера на лугах могут быть взаимосвязаны. Он сопоставил ряд фактов: 1 — шмели опыляют клевер, положительно влияя таким образом на количество семян; 2 — гнёзда шмелей разоряют полёвки; 3 — полёвками питаются кошки. Следовательно, предположил учёный, чем больше кошек, истребляющих полёвок, тем больше и клевера на окрестных лугах.

Реальные взаимоотношения между популяциями в сообществе гораздо сложнее, чем в описанном примере. В природе наиболее широко распространены такие формы биотических взаимодействий, как пищевые связи, конкуренция и мутуализм.

Пищевые связи — основная форма прямых взаимоотношений между популяциями в сообществе, так как поддерживают жизнь организмов. В пищевых отношениях популяция одного вида выступает как потребитель, а популяция другого вида — как пищевой ресурс. Примерами пищевых связей могут служить взаимоотношения травоядных животных и растений, хищников и их жертв, паразитов и хозяев (рис. 78, 79). Напомним, что хищниками называют организмы (обычно это животные), которые ловят, умерщвляют и поедают другие живые организмы. Паразиты, в отличие от хищников, используют другой живой организм не только как источник

Рис. 78. Примеры хищничества и паразитизма в природе

Рис. 79. Разделение пищевых ресурсов между копытными в саванне

пищи, но и как место обитания. Для потребителя (хищника или паразита) результат взаимодействия положительный, а для второго участника — отрицательный. Большая плодовитость организмов создаёт запас энергии, используемой другими видами.

В природе сравнительно немного видов, которые имеют приспособления для питания одним или немногими видами. Например, в таёжных лесах чёрный дятел (желна) питается древесными муравьями, добывая их из-под коры хвойных деревьев, клесты питаются семенами ели и сосны, извлекая их из шишек своеобразным клювом. Муравьеды и ящеры (панголины) питаются термитами, разрывая мощными когтями термитники и извлекая длинным языком насекомых.

Большинству видов свойственны широкие пищевые связи (многоядность), которые ослабляют зависимость популяции потребителя от какого-то одного пищевого ресурса и способствуют её устойчивости. Примерами многоядных видов служат врановые птицы (серая ворона, грач и др.), озёрная чайка, бурый медведь. Человек также вид с очень широкими пищевыми связями.

Конкуренция (от лат. *concurrere* — сталкиваться) — это косвенные взаимодействия, которые возникают, если виды используют одинаковые ресурсы (пищу, свет, укрытия и др.), количество которых ограничено. Иными словами, конкуренция — это соперничество за дефицитный ресурс. Обычно конкурентами оказываются близкие виды. Например, в смешанных лесах большая синица и мухоловка-пеструшка могут конкурировать за дупла, в которых они устраивают гнёзда. Многие виды куликов, образующие в период миграции массовые скопления на берегах степных озёр, могут конкурировать за пищу — личинок комаров-звонцов. Известны также примеры конкуренции между неродственными видами — в европейских степях за молодые побеги растений могут конкурировать суслики, сайгаки и саранча.

Совместное существование конкурентов неблагоприятно отражается на каждом из них: возрастает смертность, уменьшается численность популяций, замедляется рост особей. Это происходит потому, что конкуренты создают нехватку ресурса друг для друга. Избежать конкуренции возможно лишь благодаря увеличению экологических различий. Например, учёные выяснили, что в пустынях на юго-западе США несколько видов муравьёв конкурируют за семена. При этом разные виды специализируются на потреблении семян разного размера. Аналогично многообразные виды копытных, обитающие в африканских саваннах, избегают пищевой конкуренции, предпочитая поедать растения разной высоты (см. рис. 79).

Мутуализм. Взаимовыгодные отношения видов — ***мутуализм*** (от лат. *mutuus* — взаимный) — очень широко распространены в природе. Наиболее знакомый пример таких взаимодействий — отношения цветковых растений и насекомых-опылителей. Наверное, каждый замечал, что на цветках можно увидеть разнообразных насекомых — бабочек, пчёл, шмелей, жуков, мух-журчалок. Они посещают цветки, чтобы полакомиться нектаром и пыльцой.

Выделение сладковатого сока нектарниками цветков — особое приспособление растений для привлечения насекомых. Какая-то часть пыльцы всегда прилипает к телу насекомого. Перелетая с цветка на цветок, насекомые переносят пыльцу, обеспечивая опыление растений. Такие отношения выгодны как насекомым, так и растениям. В тропических лесах нередко роль опылителей играют мелкие питающиеся нектаром птицы: колибри, нектарницы, цветочницы — или даже летучие мыши.

Многие виды муравьёв в качестве дополнительной пищи охотно поглощают медвяную росу тлей — сладковатую жидкость, которую выделяют эти насекомые. Муравьи, можно сказать, «пасут» тлей — переносят их с одного растения на другое, обеспечивая тем самым пищей (молодыми листочками), охраняют от хищных насекомых. Налицо взаимная выгода от таких отношений для популяций муравьёв и тлей (рис. 80).

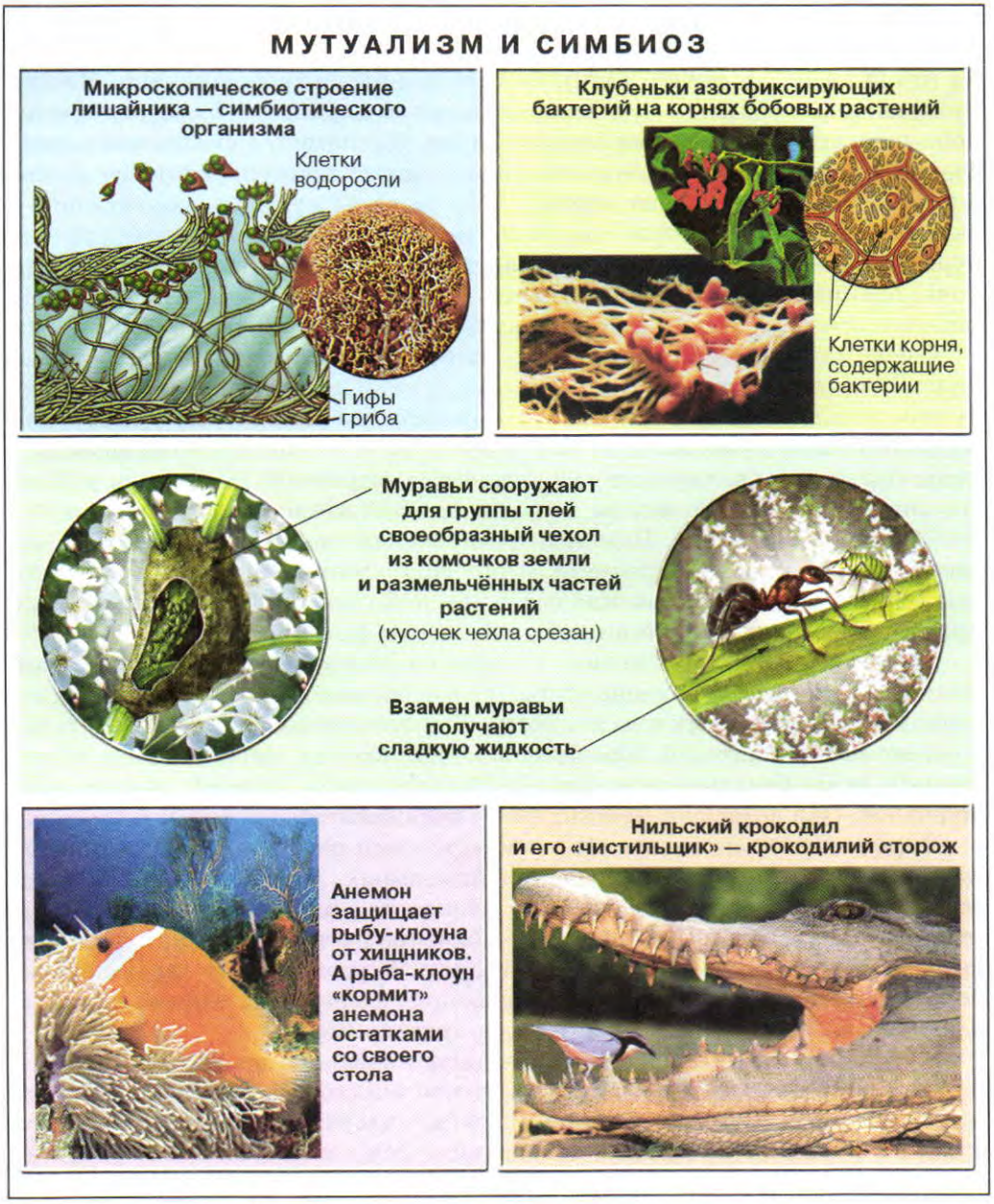


Рис. 80. Взаимовыгодные отношения видов

Важную роль в расселении семян сосны сибирской (кедровой) играют птицы — кедровки и кукши. У этих птиц сильно развит инстинкт запасания — осенью они зарывают небольшие порции семян (кедровых орешков) в глубь лесной подстилки. Зимой птицы не могут найти и съесть все спрятанные семена, так что часть семян прорастает. Таким образом кедровки и кукши, распространяя семена сосны сибирской на обширных пространствах, способствуют восстановлению таёжных лесов.

В некоторых случаях мутуалистические отношения оказываются обязательным условием существования видов (см. рис. 80). Обязательные мутуалистические отношения называют ***симбиозом*** (от греч. *symbiōsis* — сожительство). Пример симбиоза — азотфиксирующие бактерии, которые образуют клубеньки на корнях многих бобовых растений. Бактерии ассимилируют молекулярный азот, переводя его в соединения, усваиваемые растениями, которые, в свою очередь, обеспечивают бактерии питательными веществами. До недавнего времени классическим примером симбиоза считались лишайники. Однако согласно последним научным данным это представление меняется. Доказано, что по многим показателям (возможность самостоятельного питания, размножение) грибы, входящие в состав лишайника, паразитируют на водоросли.

Большинство деревьев и травянистых растений образуют симбиоз с грибами — *микоризу*. Нити грибницы оплетают корни и тем самым намного увеличивают всасывающую поверхность корневой системы. Растение лучше обеспечивается водой и минеральными веществами. В свою очередь, грибы, будучи гетеротрофными организмами, получают от растений сахара и другие органические вещества. Многие шляпочные грибы, например белые, подберёзовики, подосиновики, рыжики, образуют микоризу с деревьями. Почва в прикорневой области деревьев буквально пронизана грибницей, а на поверхности появляются плодовые тела. Экспериментально установлено, что без микоризы многие растения не могут расти, а грибы не образуют плодовых тел.

Итак, пищевые, конкурентные и мутуалистические связи влияют на обоих участников взаимодействий, т. е. эти связи двусторонние. Вместе с тем в природе существуют и другие, односторонние, взаимодействия, существенные только для одного из участников.

Биотические связи чрезвычайно разнообразны и сложны, а косвенные взаимодействия скрыты от наблюдателя. Биотические связи формируют среду, обеспечивают питание, размножение и расселение видов, регулируют численность популяций. Разнообразие и переплетение межвидовых отношений поддерживают структуру сообщества и его целостность как надорганизменной системы.

Для любознательных

Удивительный симбиоз образуют южноамериканские муравьи-листорезы с одним из видов грибов. Название эти муравьи получили за то, что они срезают челюстями кусочки листьев деревьев и переносят их в гнездо. Главное, что листорезы не едят листья, а готовят из них компост для грибницы, которой они питаются. При расселении молодые самки всегда захватывают часть грибницы для нового гнезда. Интересно, что вне гнёзд муравьёв-листорезов этот гриб не развивается.

Нередко биотические связи выгодны одному виду, но безразличны другому. Известны разнообразные формы *нахлебничества*, когда одни животные поедают остатки пищи других. Например, в африканских саваннах птицы-падальщики, гиены и шакалы не упустят возможности полакомиться остатками добычи львов, а рыбы-прилипалы и лоцманы, обыкновенно сопровождающие акул, охотно поедают остатки добычи этих хищников (рис. 81).

Широко распространено в природе *квартирантство*, когда один вид использует постройки другого вида, не нанося ему вреда. Например, степные утки огари и пеганки устраивают гнёзда в пустующих норах барсуков, лисиц и сурков, а мелкие соколы — пустельга и кобчик — нередко селятся в старых гнёздах серых ворон.

Колонии белых гусей, обитающих в тундре, нередко располагаются близ гнёзд соколов сапсанов. Такое соседство выгодно гусям, поскольку сапсаны активно охраняют большую гнездовую территорию, изгоняя хищников — поморников и песцов. Тем самым соколы заодно снижают риск разорения гнёзд гусей этими хищниками.

Иногда используется даже тело другого вида. Некоторые рыбы-клоуны прячутся среди щупалец актиний. Рыбы-клоуны прекрасно приспособлены к такому сосуществованию. Кожная слизь этих рыб по химическому составу не отличается от слизи актиний. Поэтому актинии, которые охотятся на мелких рыб, «не узнают» в рыбах-клоунах чужеродного тела и не нападают на них.

Биотические связи могут быть вредны для одного и безразличны для другого вида. Например, плесневые пеницилловые грибы, выделяя антибиотики, подавляют развитие бактерий. Некоторые виды васильков выделяют в почву вещества, угнетающие рост других растений. Из-за попадания семян этих видов на северо-запад США, чему способствовало сооружение сети автомобильных и железных дорог, там исчезли некоторые травянистые сообщества — местные растения были вытеснены васильками.

Если виды в сообществе не оказывают взаимного влияния друг на друга, говорят о нейтральных взаимоотношениях. Например, большой пёстрый дятел, рябчик, обыкновенный ёж, рыжая полёвка — нейтральные виды, хотя входят в состав одного лесного сообщества.

НАХЛЕБНИЧЕСТВО И КВАРТИРАНТСТВО

Акула и прилипала

Птицы-падальщики дождались своего часа после пиршества хищников

Усоногие рачки-балянусы используют тело кита в качестве субстрата, не причиняя ему при этом вреда

Плоды лопуха снабжены крючками, которыми они цепляются за шерсть животных и распространяются

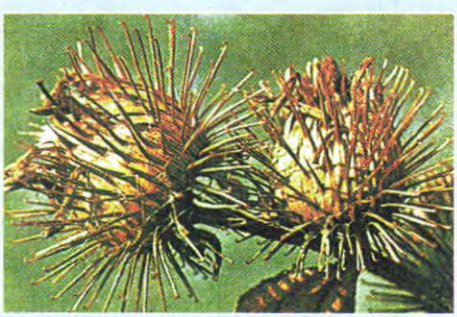


Рис. 81. Примеры нахлебничества и квартирантства в природе

ПРОВЕДИТЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Выявление типов взаимодействия разных видов в биоценозе

Цель работы — выявить различные формы биотических видов в биоценозе.

Используя дополнительную литературу, составьте перечень основных видов растений, грибов и животных конкретного биоценоза (например, хвойного, смешанного или широколиственного леса). Учитывая особенности экологических связей между разными видами, обитающими в данном биоценозе, заполните таблицу и выполните теоретическую часть работы.

Влаголюбивые растения	Растения, предпочитающие умеренно увлажнённую почву	Грибы	Растительноядные животные	Животные, питающиеся насекомыми и прочими беспозвоночными	Мелкие хищные животные	Крупные хищные животные

Назовите виды биоценоза, между которыми существуют пищевые связи.

Между какими видами и при каких условиях в биоценозе леса возможна конкуренция?

Назовите виды биоценоза, между которыми существуют мутуалистические отношения и симбиоз.

Сделайте вывод о разнообразии типов межвидовых взаимодействий в рассмотренном биоценозе.

Вопросы и задания

1. Охарактеризуйте пищевые взаимоотношения между популяциями разных видов в пределах биоценоза.
2. Докажите, что острая конкуренция неблагоприятно отражается на каждом из вступающих в такие отношения организмов.
3. Используя информацию, представленную на рис. 79, объясните, каким образом совместно обитающие виды могут избежать острой конкуренции.
4. Обобщите информацию, представленную на рис. 80, и охарактеризуйте мутуализм и симбиоз как примеры взаимоотношений между организмами. Сравните их между собой, выделите черты сходства и различия. Какие примеры, представленные на рисунке, относятся к симбиозу, а какие — к мутуализму?

§ 37. Структура пищевых связей и их роль в сообществе

Как пищевые связи могут отражаться на структуре биоценоза?

В результате пищевых связей организмы получают энергию и органические вещества для поддержания жизни и размножения. В природных сообществах пищевые связи препятствуют неограниченному росту численности популяций.

Пищевые цепи и пищевые сети. Структуру пищевых связей в сообществе отражают пищевые цепи и их переплетения — пищевые сети. ***Пищевая цепь*** представляет собой последовательность видов, каждый из которых служит пищей для следующего (рис. 82).

Пищевые связи в основном начинаются с автотрофных организмов — фотосинтезирующих растений. Зелёные растения потребляют воду, углекислый газ, минеральные соли и путём фотосинтеза преобразуют энергию

Рис. 82. Схема пищевой цепи пресного водоёма

солнечного излучения в энергию химических связей органических веществ: углеводов, белков и жиров. Иными словами, зелёные растения создают органические вещества из неорганических, поэтому в экологии их называют *производителями* или ***продуцентами*** (от лат. *producens* — производящий).

Таким образом, первое звено пищевой цепи представлено производителями органических веществ.

Второе и последующие звенья пищевой цепи представлены *потребителями*, или ***консументами*** (от лат. *consumo* — потребляю) — гетеротрофными организмами, которые не создают органических веществ, а только их потребляют. Тех потребителей, которые окончательно разлагают органические вещества до минеральных, называют *разрушителями* или ***редуцентами*** (от лат. *reducens* — возвращающий). Редуценты — это главным образом плесневые грибы и бактерии. Они возвращают в почву минеральные вещества, например азот, фосфор и серу, в пригодной для потребления растениями форме.

Растительноядные животные, грибы и многие микроорганизмы, которые питаются живой или мёртвой растительностью, образуют второе звено пищевой цепи, а плотоядные животные — третье и остальные звенья.

Многоядность большинства животных приводит к тому, что в сообществе каждый вид участвует сразу в нескольких пищевых цепях. Бурый медведь,

Рис. 83. Схема пищевой сети

например, питается ягодами, кедровыми орешками, зелёными растениями, насекомыми, рыбой, падалью, а иногда охотится на копытных. Отметим, что в разных пищевых цепях один и тот же вид может занимать разный трофический уровень. Отдельные пищевые цепи переплетаются, образуя ***пищевую сеть*** — один и тот же хищник охотится на разные виды жертв, а один и тот же вид жертвы потребляется разными видами хищников (рис. 83).

Циклические изменения численности хищников и их жертв. Очень часто изменения численности популяций в природных сообществах — это следствие пищевых отношений. Рассмотрим, каким образом взаимосвязаны популяции вида-потребителя и вида-ресурса на примере хищников и их жертв.

Впервые на закономерные сопряжённые изменения численности хищника и жертвы обратил внимание в 1920-х годах Чарльз Элтон, проанализировав данные по заготовке шкурок рыси и зайца Компанией Гудзонова залива в Северной Канаде. Выяснилось, что каждые 8—10 лет вслед за подъёмом численности зайцев увеличивалась численность рыси. Пик численности рыси наступал на 1—2 года позже, чем пик численности зайцев (рис. 84).

Чуть позже, в 1930-х годах, работая с хищной инфузорией дидиниум и её жертвой — инфузорией-туфелькой, Г. Ф. Гаузе экспериментально доказал, что в результате взаимодействий хищника и жертвы могут возникать циклические колебания численности обеих популяций.

Циклические колебания численности популяций хищника и жертвы объясняются просто. Обыкновенно виды-жертвы размножаются быстрее, чем хищники. Рост численности жертв ведёт к улучшению питания хищников. Хищники начинают размножаться, и их популяция тоже увеличивается. Снижение количества жертв (например, из-за вспышки инфекционных заболеваний, истощения пищевых ресурсов или чрезмерного выедания размножившимися хищниками) подрывает кормовую базу хищников, их численность закономерно снижается. Многократное повторение описанного хода событий порождает циклические колебания в обеих популяциях.

К настоящему времени известно много примеров закономерных циклических изменений популяций хищников и их жертв, а также вообще популяций видов-потребителей и видов-ресурсов. Главная их особенность — это асинхронность, т. е. несовпадение во времени. Чем бы ни контролировалась численность ресурса, рост и падение численности потребителя происходят с некоторым запозданием, вслед за соответствующими изменениями в популяции ресурса.

Пищевые связи и структура сообщества. Пищевые сети обусловливают взаимосвязь всех популяций в сообществе и обеспечивают его целостность как системы. Структура природного сообщества сохраняется стабильной, если прирост популяций видов-ресурсов компенсируется пищевой деятель-

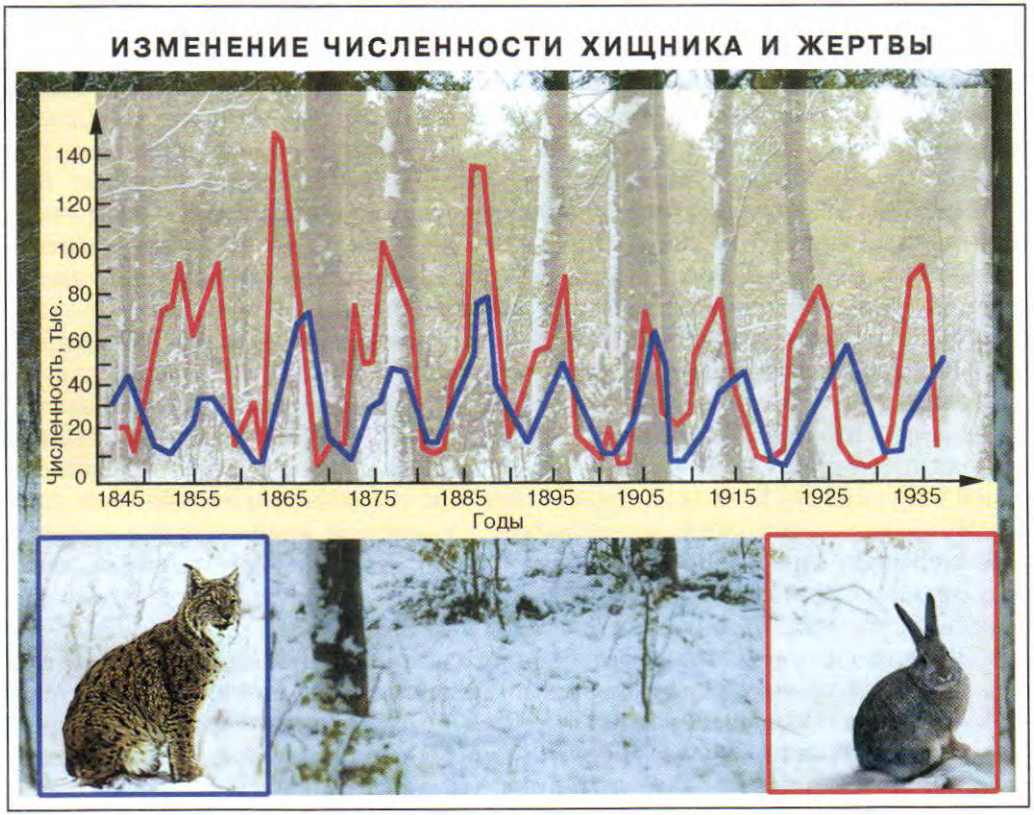


Рис. 84. Циклические изменения численности американской рыси и зайца-беляка

ностью видов-потребителей, например хищники уничтожают своих жертв примерно с той же скоростью, с которой те размножаются. Если жертва размножается быстрее, чем её поедают хищники, то возникает вспышка численности вида.

Хищники обычно питаются массовыми видами жертв. Если хищник выедает жертв быстрее, чем те размножаются, то обилие корма постепенно снижается. В итоге плотность жертвы может снизиться настолько, что охота на неё становится невыгодной — хищник тратит слишком много времени и сил на поиск добычи. В этом случае хищник переключается на другой вид жертвы, плотность которой достаточно велика. Поэтому влияние хищников на популяцию жертвы обычно связано с её плотностью. Например, в годы низкой численности леммингов в тундре песцы перестают на них

охотиться и поедают яйца и птенцов куликов и гусей. Широкие пищевые связи позволяют хищнику переключаться с одной жертвы на другую, поэтому самому сильному воздействию хищников подвергаются наиболее многочисленные виды.

Таким образом, пищевые взаимодействия препятствуют неограниченному росту численности природных популяций. В частности, установлено, что численность популяций наземных лесных насекомых ограничивается пищевой деятельностью насекомоядных млекопитающих, в основном землероек.

Эксперименты показали, что изъятие хищников может привести к драматическим последствиям для сообщества. Например, вылов морских звёзд, которые питаются в основном разнообразными моллюсками, привёл к скорому исчезновению шести видов моллюсков из семи, исходно населявших сообщество. Мидии размножились настолько, что заняли всё свободное пространство и вытеснили все виды водорослей, кроме одного. Как следствие исчезли растительноядные, а затем и хищные моллюски, которые не могли питаться мидиями. Этот пример показывает, насколько важна роль хищников в поддержании структуры и видового разнообразия сообщества. Морские звёзды ограничивали рост численности моллюсков и тем самым предотвращали конкуренцию между ними.

Аналогично в степных сообществах пасущиеся копытные — основные потребители растительности — поддерживают многообразие трав, выедая быстрорастущие злаки и освобождая пространство и ресурсы для других растений. Сокращение выпаса из-за снижения численности копытных ведёт к тому, что в ковыльно-разнотравных степях ковыль вытесняет прочие травы, а образующийся толстый слой из отмирающих листьев угнетает его собственный рост. Отметим, что выпас чрезмерного количества животных, например овец и коров, ведёт также к серьёзным нарушениям в структуре степного сообщества — сохраняются лишь немногие устойчивые к вытаптыванию виды, а почва, лишённая растительного покрова, подвергается эрозии и теряет плодородие.

Вопросы и задания

1. Объясните значение терминов «пищевые цепи», «продуценты», «консументы», «редуценты».
2. Приведите примеры, когда один и тот же вид занимает разный трофический уровень в пищевой цепи.
3. Используя информацию, представленную на рис. 84, объясните, почему соотношение численности вида-потребителя и вида-ресурса в сообществе часто носит циклический характер.
4. Докажите, что пищевые отношения влияют на численность популяций и структуру биоценоза.

§ 38. Роль конкуренции в сообществе

Каким образом виды избегают острой конкуренции в пределах биоценоза?

Конкурентные отношения, представляя собой борьбу за ограниченный ресурс, позволяют выжить сильнейшему, поэтому играют большую роль в формировании природных сообществ. Проблеме конкуренции посвящено большое число научных исследований. Русский учёный Г. Ф. Гаузе в 1930-х годах впервые обратился к экспериментальному изучению конкуренции. Результаты опытов с тремя видами инфузорий-туфелек (род *Paramecium*) наглядно продемонстрировали главные закономерности и следствия конкуренции.

Правило конкурентного исключения. В первой серии экспериментов Г. Ф. Гаузе использовал два вида инфузорий-туфелек — хвостатую и ушастую. Инфузории выращивались в пробирках, куда ежедневно добавляли ограниченные порции корма — бактерии сенного настоя или дрожжи, тем самым создавая условия для конкуренции.

При раздельном содержании оба вида хорошо размножались, их численность росла и вскоре стабилизировалась на уровне ёмкости среды. При совместном содержании в среде, где кормом служили бактерии, сначала численность обоих видов увеличивалась, но затем численность туфельки хвостатой снижалась, и в итоге этот вид исчезал. Таким образом, туфелька ушастая побеждала в конкуренции (рис. 85).

Однако, когда кормом для инфузорий служили не бактерии, а дрожжи, в конкуренции побеждал другой вид — туфелька хвостатая. Оказалось, что продукты метаболизма бактерий подавляют размножение туфельки хвостатой, а в их отсутствие этот вид размножается быстрее, чем туфелька ушастая. Следовательно, изменение экологических условий, в данном случае смена корма, может влиять на успех вида в конкуренции. Тем не менее исход конкурентных отношений однозначен — один вид всегда вытесняет другой.

В другой серии экспериментов Г. Ф. Гаузе изучал взаимоотношения туфельки ушастой и инфузории бурсарии. Несмотря на пищевую конкуренцию, оба вида были способны к длительному совместному существованию, хотя численность каждого из них была ниже, чем при раздельном содержании.

Выяснилось, что сосуществование туфельки ушастой и бурсарии было возможным из-за того, что виды по-разному использовали среду: туфельки ушастые держались в толще воды, в то время как бурсарии — около дна. Кроме того, бурсарии охотнее поедали дрожжи, а туфелька ушастая — бактерии (см. рис. 85).

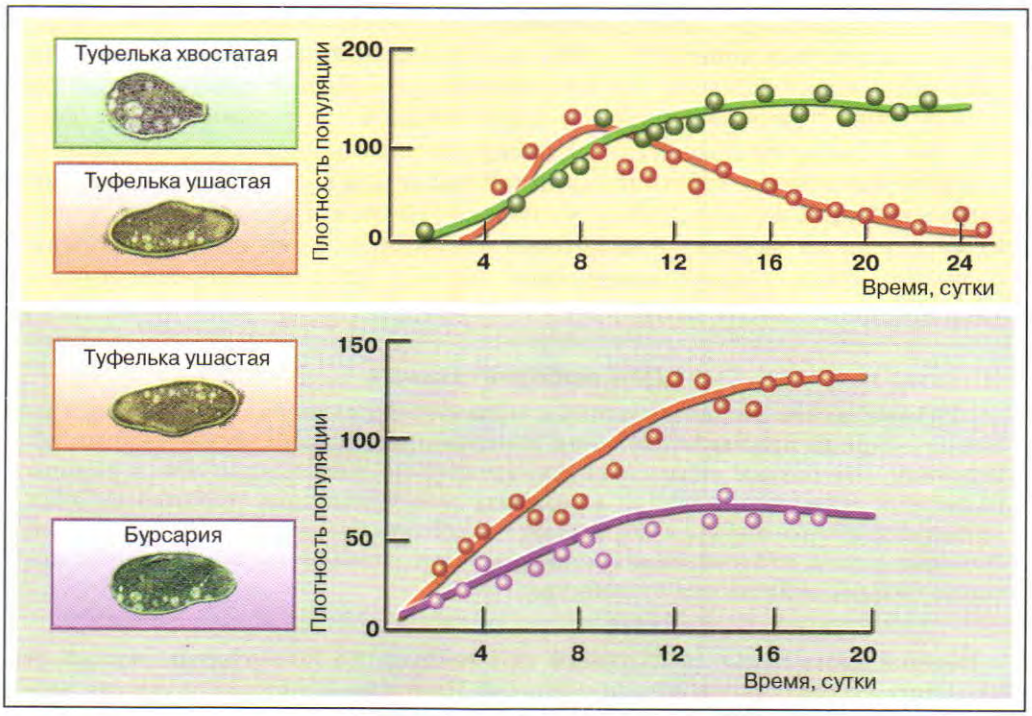


Рис. 85. Эксперименты Г. Ф. Гаузе с инфузориями разных видов, демонстрирующие роль конкуренции в сообществе

В результате этих опытов был сделан вывод о невозможности длительного совместного существования в стабильной среде двух видов с одинаковыми экологическими потребностями. Эта закономерность была названа ***правилом конкурентного исключения Гаузе***. Позже многочисленные эксперименты учёных подтвердили справедливость этого правила.

Конкуренция и состав сообществ. Очевидно, что конкуренция должна вести к увеличению экологических различий между видами. В одном сообществе могут ужиться виды, конкуренция между которыми отсутствует, ослаблена или протекает кратковременно, так что правило конкурентного исключения не успевает реализоваться.

В природе существуют три главных пути экологического разобщения сосуществующих видов: в пространстве, пищевых ресурсах и во времени.

Разделение пространства, пожалуй, самый распространённый способ избежания конкуренции. Например, обычные в смешанных лесах синицы, сходные по строению и рациону, кормятся в разных местах. Длиннохвостые

синицы собирают корм преимущественно на тонких концах веток в периферии кроны, гаички чаще обследуют основания тонких побегов, лазоревки кормятся в верхней части кроны деревьев, а большие синицы держатся в кроне ниже лазоревок, собирая корм также в кустарниках и на земле (рис. 86). Разнообразные кулики собирают личинок комаров-звонцов на разной глубине в соответствии с длиной ног и клюва — мелкие песочники на иле с плёнкой воды, а длинноногие веретенники и ходулочники — в наиболее глубоких местах. Аналогично различные жуки-короеды обитают в разных частях деревьев: короед-типограф — в нижней, а короед-гравёр — в средней части ствола ели.

Для любознательных

Размежевание видов пустынных муравьёв по размерам поедаемых ими семян — яркий пример ослабления конкуренции. Американские учёные установили, что разные виды специализируются на потреблении семян разного размера, а также что различия в размерах тела и величине челюстей рабочих особей сильнее выражены в тех местах, где обитает больше видов-конкурентов. Это доказывает, что в условиях конкуренции выживают те рабочие особи, которые сильнее отличаются от конкурентов.

Расхождение видов со сходным типом питания по времени активности тоже широко распространено в природе. Например, в одних и тех же водоёмах щука и судак охотятся днём, а сом — ночью. Среди пернатых хищников средней полосы России канюк и пустельга охотятся на полёвок в светлое время суток, а ушастая сова и серая неясыть — с наступлением темноты.

Важно отметить, что конкуренция возникает при высокой численности видов со сходными требованиями к среде. Так, хищники и прочие виды-потребители могут предотвращать межвидовую конкуренцию, сдерживая рост популяций видов-ресурсов, и стабилизировать состав биоценоза.

Знание закономерностей биотических связей, прежде всего пищевых отношений, имеет большое практическое значение для сохранения природных сообществ. Необдуманное или случайное вселение человеком новых видов нередко приводит к нарушению биотических связей и как следствие — к разрушению уникальных сообществ и вымиранию местных видов.

Известны случаи, когда вселенцы оказывались более сильными конкурентами в отношениях с местными видами. Численность обыкновенной белки в Англии стала сокращаться из-за того, что туда была завезена каролинская белка из Америки. Аналогично американская норка, акклиматизированная в европейских лесах в первой половине XX в., постепенно вытесняет европейскую норку из исконных мест её обитания.

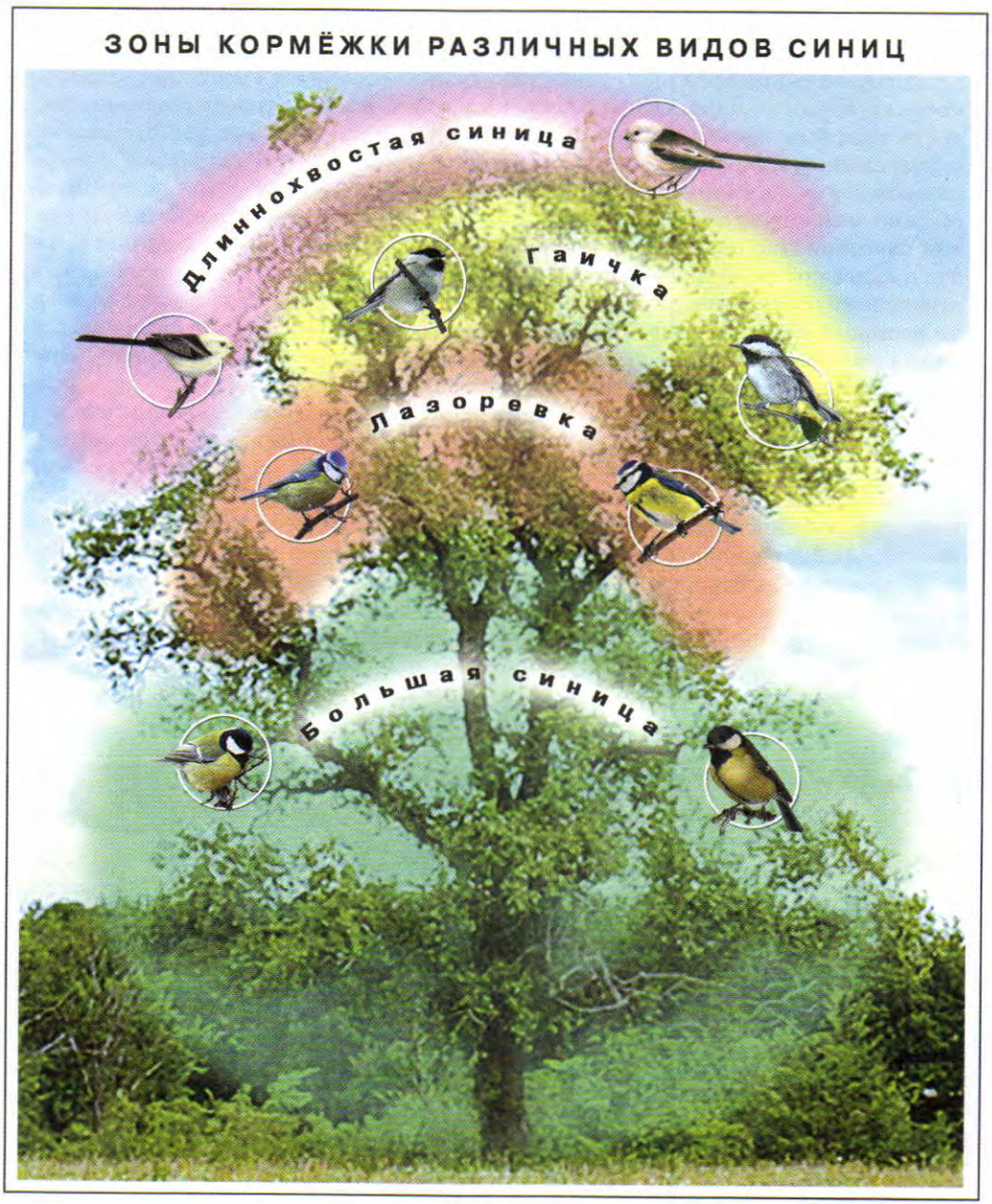


Рис. 86. Ослабление конкуренции в сообществе осуществляется благодаря пространственному и пищевому размежеванию видов

Для любознательных

Драматично развивалась судьба уникальных сообществ Гавайских островов после того, как в конце XIX в. с Азорских и Канарских островов и острова Мадейра туда был завезён кустарник файяль (семейство восковницевые) с симбиотическими азотфиксирующими бактериями (рис. 87). Этот кустарник быстро разрастался на не покрытых лесом участках бедных вулканических почв. Почва обогащалась нитратами, доступными для всех растений. Обогащение почвы азотом благоприятно отразилось на численности дождевых червей, которые тоже были занесены на острова человеком. Черви обогащали почву органическими веществами (гумусом) и разрыхляли её. В результате возникли условия для жизни растений, семена которых попадали на острова, но не могли там развиваться в прежних условиях. Местные птицы не поедали плодов файяля, однако некоторые виды, иногда залетающие на острова, например японские белоглазки, охотно питались плодами и с помётом распространяли семена. Файяль заселял всё новые и новые территории, а листовой опад кустарника вместе с тем затруднял прорастание семян и возобновление местных деревьев. В результате меньше чем за сто лет облик растительности на островах коренным образом изменился. Попытки восстановить естественный растительный покров на островах путём вырубки файяля не привели к успеху, так как на сильно изменённой почве местные деревья не выдерживают конкуренции с другими растениями-вселенцами.

Эти примеры показывают, насколько серьёзными для сообщества могут быть последствия, казалось бы, незначительных изменений в биотических связях.

Рис. 87. Файяль — кустарник, завезённый человеком на Гавайские острова

Вопросы и задания

1. Охарактеризуйте методы исследования, с помощью которых Г. Ф. Гаузе сформулировал принцип конкурентного исключения.
2. Назовите способы снижения конкуренции между видами биоценозов.
3. С помощью конкретных примеров докажите возможность экологического размежевания видов-конкурентов в сообществе.
4. В настоящее время во многих районах средней полосы России широко распространено растение борщевик Сосновского, которое было завезено к нам относительно недавно. Обследуйте биоценозы своего района на предмет распространения этого вселенца. Познакомьтесь с биологией и областью естественного распространения этого вида, а также с историей его появления на данной территории. Почему в условиях нового местообитания борщевик Сосновского стал успешно конкурировать с видами-аборигенами?

ЭКОСИСТЕМЫ

Ни один биоценоз не может существовать вне элементов неживой природы — почвы, рельефа, климата...
Растения, создающие основу биоценоза, не могут жить без воды и минеральных веществ, которые получают из почвы, без углекислого газа и солнечного света.
От географической широты местности и особенностей рельефа зависят уровень освещённости, количество тепла и влаги, что, в свою очередь, предопределяет тип формирующегося там сообщества. Совокупность биоценоза и элементов неживой природы называют ***экосистемой*** или ***биогеоценозом***.
Понятие «экосистема» ввёл в 1935 г. английский эколог А. Дж. Тенсли, а «биогеоценоз» — в 1942 г. русский ботаник В. Н. Сукачёв. Подобно природным сообществам, экосистемы соподчинены иерархически, т. е. небольшие экосистемы входят в состав более крупных. Самая крупная экосистема Земли — биосфера.

§ 39. Организация экосистем

Каковы особенности структуры и функционирования экосистем?

Биологический круговорот. Солнечная энергия превращается растениями в энергию химических связей органических веществ. Побочным продуктом фотосинтеза служит кислород, который выделяется в атмосферу. По цепям питания органические вещества переходят от продуцентов (производителей) к консументам (потребителям). Организмы-потребители поглощают также воду и кислород, необходимый для дыхания, и выделяют углекислый газ и органические продукты обмена, например мочевину и непереваренные остатки пищи. Отмершие растения, трупы и экскременты разлагаются бактериями, грибами и некоторыми мелкими животными до простых органических и неорганических веществ, которые попадают в почву и вновь усваиваются растениями.

Таким образом, продуценты, консументы и редуценты осуществляют круговорот веществ, или ***биологический круговорот*** (рис. 88). Биологический круговорот — важнейшее свойство любой экосистемы, в результате которого минеральные вещества не истощаются, а многократно вовлекаются в жизненные процессы.

Поток энергии в экосистеме. Вам известно, что любой организм нуждается не только в органических веществах — строительном материале для клеток, но также и в энергии, которая постоянно расходуется для осуществления разнообразных жизненных процессов, например на поддержание температуры тела, работу мышц, синтез белка или избирательный перенос молекул через клеточную мембрану. Часть органических веществ, образующихся в организме или поступающих в него, обязательно разрушается с выделением энергии. Вот почему круговорот веществ неизбежно сопряжён с процессами поступления и расхода энергии.

Владимир Николаевич Сукачёв
(1880—1967)

Энергия, в отличие от минеральных веществ, не может многократно вовлекаться в жизненные процессы. Любой организм расходует большую часть полученной в результате питания энергии на поддержание собственной жизнедеятельности. Поэтому лишь небольшая её доля доступна для организмов следующего звена пищевой цепи.

Параллельно с биологическим круговоротом в экосистеме существует ***поток энергии***. Только постоянный приток энергии солнечных лучей

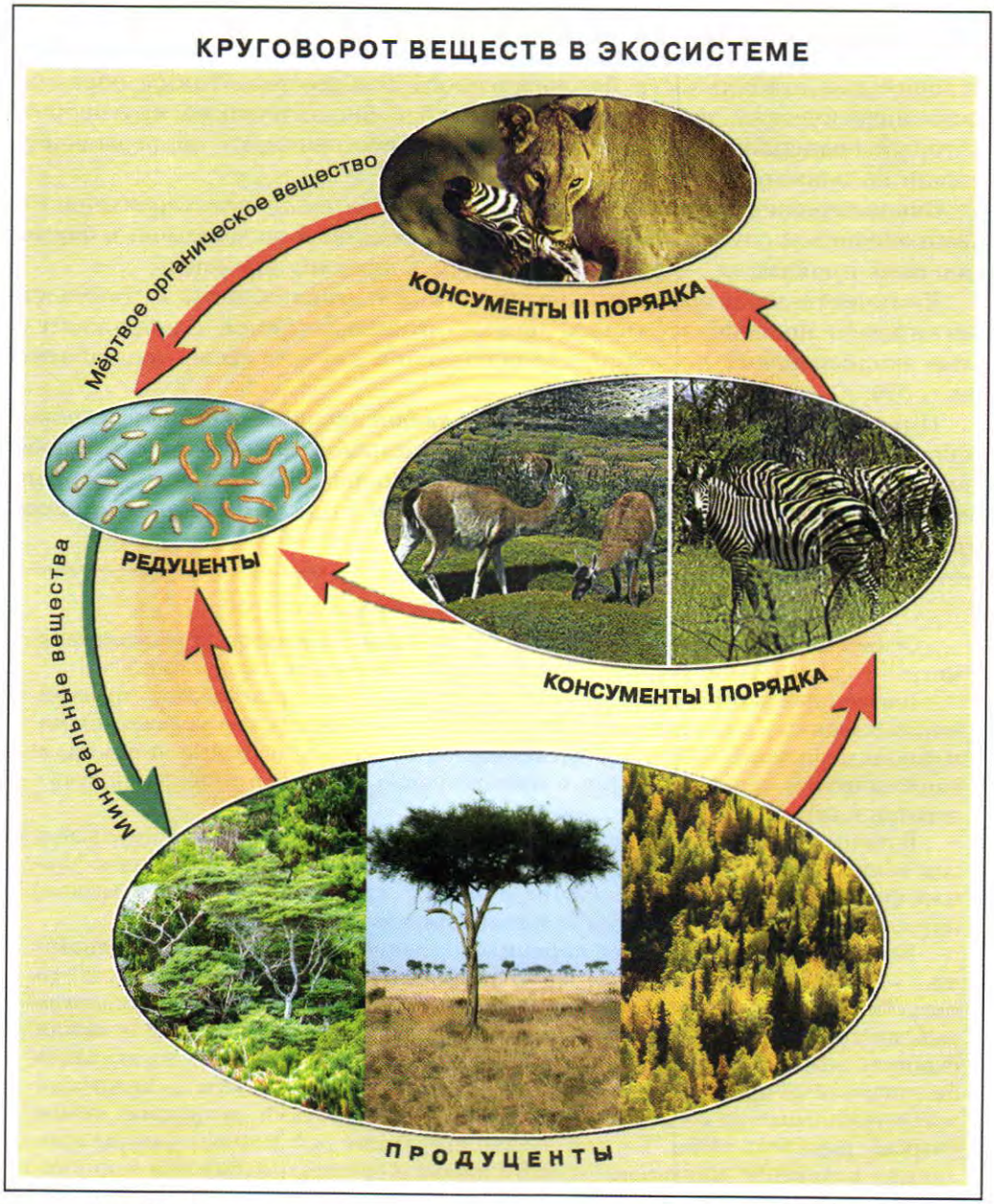


Рис. 88. Биологический круговорот — важнейшее свойство экосистемы

может гарантировать существование сообщества. Уравновешенность процессов синтеза и разрушения органического вещества в экосистеме создаёт условия для стабильности биологического сообщества. Таким образом, фотосинтетическая деятельность растений и биологический круговорот, который поддерживается потоком энергии, обеспечивают непрерывность жизни на планете.

Экологические пирамиды. Важными количественными характеристиками экосистем служат ***биомасса***, т. е. масса живых организмов, и ***биологическая продукция*** — прирост биомассы в единицу времени.

Количественное соотношение продукции, численности и биомассы организмов последовательных звеньев пищевых цепей изображают в виде ***экологических пирамид***, где основанием служит звено продуцентов (рис. 89).

Пирамида биологической продукции любой экосистемы имеет широкое основание и узкую вершину. Продукция организмов каждого последующего звена пищевой цепи примерно в 10 раз меньше предыдущего. Эта универсальная закономерность названа ***правилом пирамиды биологической продукции***.

Для любознательных

Отметим, что пирамиды численностей и биомасс в некоторых экосистемах могут не совпадать по форме с пирамидой биологической продукции.

В наземных экосистемах, где основные продуценты представлены травами (степи, саванны), а консументы первого порядка — прежде всего травоядными млекопитающими, пирамиды численностей и биомасс подобны пирамидам биологической продукции. Они имеют широкое основание и постепенно сужаются к вершине.

В лесных экосистемах, где продуценты представлены в основном крупными деревьями, пирамиды численностей имеют узкое основание — одно дерево служит пищей для множества мелких консументов, прежде всего для растительноядных насекомых. Вместе с тем основание пирамиды биомасс широкое.

В экосистемах озёр и морей пирамида численностей имеет широкое основание — численность фитопланктона многократно превосходит численность его потребителей. Однако основание пирамиды биомасс узкое, так как биомасса рыб многократно превосходит биомассу планктона. Дело в том, что большая скорость размножения одноклеточных водорослей обусловливает их высокую биологическую продукцию, но не приводит к росту их биомассы — водоросли чрезвычайно быстро поедаются животными-фильтраторами, которыми, в свою очередь, питаются рыбы. Биологическая продукция рыб в 10 раз меньше продукции планктона, однако рыбы долго живут и растут, поэтому они накапливают биомассу (см. рис. 89).

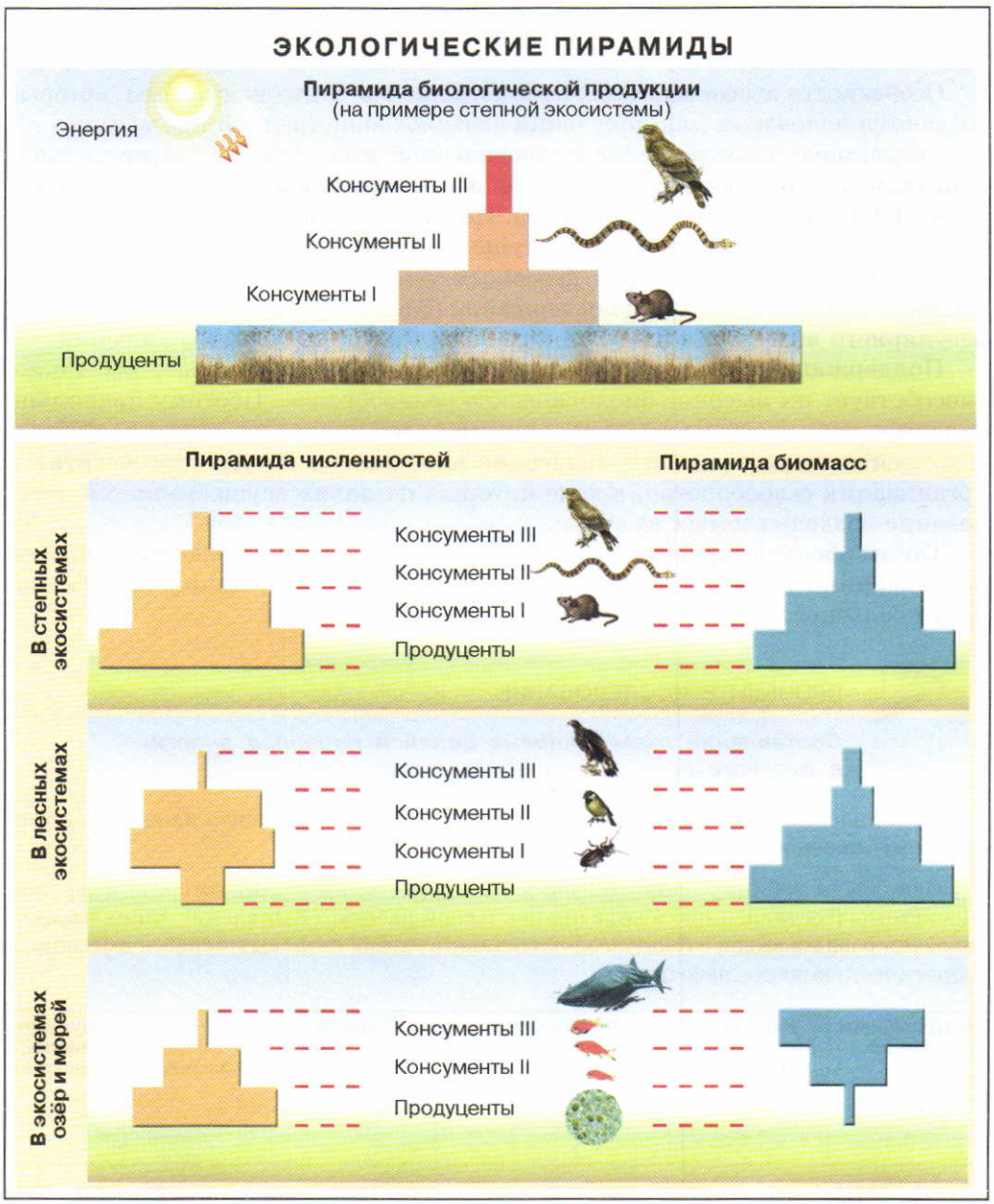


Рис. 89. Пирамиды биологической продукции, численности и биомассы разных экосистем

Чем различаются природные сообщества и агроценозы?

Особенности агроэкосистем. ***Агроэкосистемы*** — это экосистемы, которые создаются человеком для получения сельскохозяйственной продукции.

Регулярное изъятие части биологической продукции с урожаем ведёт к тому, что минеральные вещества не возвращаются в почву в ходе естественного биологического круговорота. Поэтому агроэкосистемы не способны к самостоятельному устойчивому существованию.

Устойчивое существование агроэкосистем, постоянно дающих богатый урожай, возможно лишь при поддержании биологического круговорота путём регулярного внесения в почву минеральных и органических удобрений.

Поддержанию биологического круговорота в агроэкосистемах также способствует их высокое биологическое разнообразие. Поэтому правильно спланированные агроэкосистемы помимо полей включают также пастбища, сенокосные луга и животноводческие комплексы. Этому способствует и организация севооборотов, в ходе которых на полях осуществляется чередование возделываемых культур.

Таким образом, практическое использование знаний о закономерностях организации природных экосистем способствует поддержанию продуктивности сельского хозяйства.

ПРОВЕДИТЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Составление схем пищевых цепей и переноса энергии в экосистеме

Цель работы — выявить возможные пищевые цепи, составить их схемы, а также схемы переноса энергии в экосистеме.

Используя таблицу экологических групп растений и животных конкретной экосистемы (составленную в ходе практической работы «Выявление типов взаимодействия разных видов в биоценозе»), составьте схемы пищевых цепей и выполните теоретическую часть работы.

Влаголюбивые растения	Растения, предпочитающие умеренно увлажнённую почву	Грибы	Растительноядные животные	Животные, питающиеся насекомыми и прочими беспозвоночными	Мелкие хищные животные	Крупные хищные животные

[ ] → [ ] → [ ] → [ ]

Назовите тип биологических связей, отражённых в пищевых цепях.

Объясните, на основании каких признаков вы поместили те или иные виды на место первого, второго и последующих звеньев пищевой цепи.

Отметьте организмы, выполняющие в рассматриваемой экосистеме роль продуцентов, консументов первого, второго и последующих порядков. В каком направлении будет передаваться связанная производителями энергия?

Охарактеризуйте и изобразите форму, которую будет иметь пирамида биологической продукции анализируемой экосистемы. Ответ аргументируйте.

Сформулируйте и обоснуйте гипотезу о соотношении численностей организмов, представляющих последовательные звенья пищевых цепей.

Сделайте вывод о числе звеньев в большинстве пищевых цепей рассмотренной экосистемы и о причинах, ограничивающих длину пищевых цепей.

Вопросы и задания

1. Объясните значения терминов «биологический круговорот», «биомасса», «биологическая продукция».
2. Докажите, что, характеризуя процессы, протекающие в экосистеме, неверно употреблять выражение «круговорот энергии в экосистеме».
3. Охарактеризуйте главную особенность пирамид биологической продукции.
4. Используя информацию, представленную на рис. 89, сравните пирамиды численностей и пирамиды биомасс в разных экосистемах, выявите черты их сходства и различия. Чем объясняются различия в форме пирамид?
5.* Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, соберите информацию о возможных методах поддержания устойчивого существования агроэкосистем.

§ 40. Развитие экосистем

Способны ли экосистемы к саморазвитию?

Некоторые природные сообщества стабильны и способны к бесконечно долгому существованию, сохраняя свою структуру. Например, еловые и дубовые леса, ковыльные степи существуют, не меняя своего облика, десятки и сотни тысяч лет. Сообщества речных стариц и небольших озёр или сообщества, возникающие на месте лесных рубок и пожаров, нестабильны — они сильно изменяются в течение нескольких десятков лет. Происходящие в них изменения приводят к замещению одного сообщества другим. В последовательной смене сообществ отражается процесс саморазвития экосистем.

Закономерная смена сообществ — сукцессия. Развитие экосистемы представляет собой закономерную смену сообществ, которая обусловлена жизнедеятельностью организмов, т. е. внутренними по отношению к со-

обществу причинами. Такую закономерную смену сообществ называют ***сукцессией*** (от лат. *successio* — преемственность, последовательность). В итоге сукцессии формируется зрелое сообщество. Возникновению стабильного сообщества предшествует череда нестабильных сообществ, сменяющих друг друга в строгой последовательности. Таким образом, развитие экосистемы идёт от нестабильного состояния к стабильному.

Примером сукцессии может служить преобразование сообществ речных стариц (рис. 90). По мере отделения старицы от русла реки течение в ней ослабевает, вода быстро и хорошо прогревается, концентрация кислорода в воде снижается. Состав обитателей старицы всё сильнее отличается от речного сообщества, увеличивается масса фито- и зоопланктона. Из-за недостатка кислорода в придонном слое редуценты не успевают разлагать

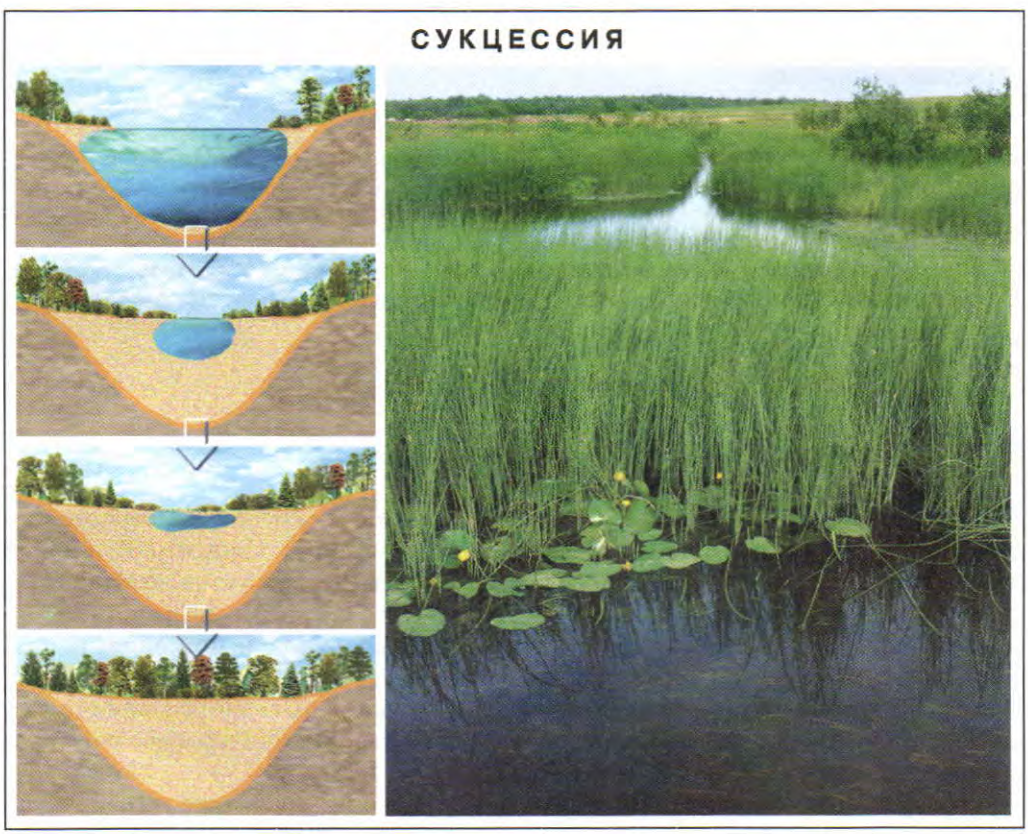


Рис. 90. Смена сообществ при зарастании речной старицы

мёртвый планктон — на дне увеличивается слой ила, и глубина старицы уменьшается. Когда глубина достигает 5—6 м, в старице развивается обильная подводная растительность. В средней полосе России это элодея, водяные мхи и водоросли. Такое состояние сообщества, называемое стадией «подводных лугов», ведёт к ускоренному накоплению ила и дальнейшему обмелению водоёма. При уменьшении глубины до 3—5 м наступает стадия растений, заполняющих толщу воды до её поверхности. Разветвлённые побеги рдестов и урути значительно уменьшают освещённость толщи воды, поэтому начинается отмирание планктона.

В дальнейшем наступает стадия плавающих растений — это кувшинка, кубышка и др. Постепенно беднеет животное население, практически исчезают рыбы. Наконец старица мелеет настолько, что на месте водоёма возникает болото с зарослями тростника, рогоза и камыша, а затем — с зарослями осоки. Из отмирающих растений образуется почва, её поверхность постепенно становится выше уровня грунтовых вод, а сама почва — менее влажной. Осоковое болото сменяется заливным лугом, луг — ивняком, ивняк — ольшаником.

Естественно, что по мере изменения растительности меняется и состав животных — водные животные исчезают, их замещают наземные виды. В итоге после череды нестабильных сообществ на месте старицы возникнет стабильное сообщество — дубрава. Так в результате сукцессии водная экосистема заменяется наземной. Весь процесс зарастания небольшого водоёма в зависимости от его исходной глубины длится до нескольких тысяч лет.

Закономерности саморазвития экосистем. Главная причина сукцессии — несбалансированность биологического круговорота. Во всех нестабильных сообществах происходит накопление органического вещества: потребители и разрушители не успевают компенсировать активность производителей.

В ходе сукцессии дисбаланс между созданием и разложением органики уменьшается, а темпы смены сообществ замедляются. С установлением динамического равновесия между поступлением и расходованием органического вещества биомасса сообщества сохраняется на устойчивом уровне и формируется стабильное сообщество.

Наряду с балансом органического вещества в стабильном сообществе устанавливается равновесие между поглощением растениями минеральных веществ и их возвратом в почву с растительным опадом. Этим обеспечивается устойчивое состояние запаса минеральных веществ в экосистеме.

В дальнейшем изменения в стабильных сообществах возможны только в силу различных внешних нарушений (пожар, ураган, рубка, вспашка). В целом каждому типу климата соответствует свой тип стабильного сообщества.

Для любознательных

Различают первичные и вторичные сукцессии. *Первичные сукцессии* приводят к образованию новых экосистем. Такие сукцессии возникают в местах, лишённых почвы, — на скалах, песчаных дюнах, в местах схода лавин или эрозионных процессов. Например, в средней полосе России склоны оврагов или карьеров сначала зарастают мать-и-мачехой и ромашкой, через 2—3 года там формируется луг с разнообразными злаками. Через несколько лет, когда уже возник тонкий слой почвы, появляются берёзы. Под пологом берёзового леса прорастают семена ели. Ели, превращаясь в высокие деревья, подавляют рост берёз, и формируется еловый лес.

Вторичные сукцессии возникают при частичном нарушении сообщества с сохранением почвенного слоя. Причинами подобного нарушения могут быть эрозия, пожар, ветровал или рубка леса. Поскольку почва в таких местах богата минеральными ресурсами, зрелые сообщества образуются быстрее, чем при первичной сукцессии. Вторичные сукцессии ведут к восстановлению нарушенной экосистемы. Например, на месте пожара сообщество елового леса может восстановиться только после сукцессионной череды сообществ. Сначала появляются быстрорастущие травы (иван-чай и вейник), на смену которым приходят светолюбивые лиственные деревья (берёза и осина), затем в их тени подрастают молодые ели. Восстановление елового леса после пожара длится несколько десятилетий.

После пожара ковыльная степь зарастает лебедой, на смену которой через пару лет приходят разные виды полыни. На пятый год их замещают пырей и другие корневищные злаки, и только спустя десятилетие на месте пожара вновь может расти ковыль.

Вопросы и задания

1. Объясните значение термина «сукцессия».
2. Охарактеризуйте стадии сукцессии в речной старице.
3. Известно, что заброшенные поля вначале зарастают однолетними травами, затем их сменяют травянистые многолетники, позже вырастают кустарники и, наконец, деревья. Объясните, почему виды сменяют друг друга именно в такой последовательности.

§ 41. Биосфера — глобальная экосистема

Каковы особенности глобальной экосистемы планеты?

Любая экосистема — система открытая. Биологический круговорот сопровождается постоянным поступлением и расходом энергии, а круговорот веществ в конкретной экосистеме никогда не бывает полным. Благодаря движению воздушных масс, потокам воды и миграции животных какая-то

часть веществ выносится из экосистемы, а какая-то часть поступает в неё. Вот почему разные экосистемы планеты взаимосвязаны и как отдельные компоненты формируют наиболее крупную экосистему Земли — ***биосферу***.

Учение о биосфере. Учение о биосфере было создано в конце 1920-х годов выдающимся русским учёным, академиком, основоположником биогеохимии В. И. Вернадским. Он использовал термин «биосфера», впервые предложенный в 1875 г. австрийским геологом Э. Зюссом, и опирался на труды основателя современного почвоведения В. В. Докучаева, который впервые указал на зависимость процессов почвообразования как от климата, так и от деятельности животных и растений. Осознание огромной роли живых организмов в формировании атмосферы, гидросферы и литосферы Земли привело В. И. Вернадского к созданию представления о биосфере как ещё одной оболочке планеты.

Биосфера, согласно представлениям В. И. Вернадского, — это та часть оболочек Земли (литосферы, гидросферы, атмосферы), где существует или существовала жизнь и которая подвергается или подвергалась в прошлом её воздействию (рис. 91). Биосфера включает всю поверхность суши, гидросферу, верхние слои литосферы на глубину до 3 км, а также часть атмосферы до высоты озонового экрана (около 20 км).

В. И. Вернадский выделял четыре компонента биосферы: живое вещество, косное (неживое) вещество, биокосное вещество и биогенное вещество.

Живое вещество образовано всей массой живых организмов Земли. Наиболее богата жизнь на поверхности суши и в верхних слоях Мирового океана — это так называемая плёнка жизни, образованная природными сообществами. Более 90 % биомассы планеты сосредоточено в лесах, которые занимают менее 11 % площади Земли, а общая биомасса растений суши примерно в 500 раз превышает биомассу растительности морей и океанов.

Косное вещество — это различные компоненты земной коры, образовавшиеся без участия живых организмов (например, вулканические горные породы).

Биокосным веществом В. И. Вернадский назвал те части биосферы, которые представляют собой комплекс из тесно взаимодействующих живого и косного веществ. Оно включает как живые организмы, так и видоизменяемое в процессе их жизнедеятельности неживое вещество — это почвы, ил дна водоёмов, природные воды.

Владимир Иванович Вернадский
(1863—1945)

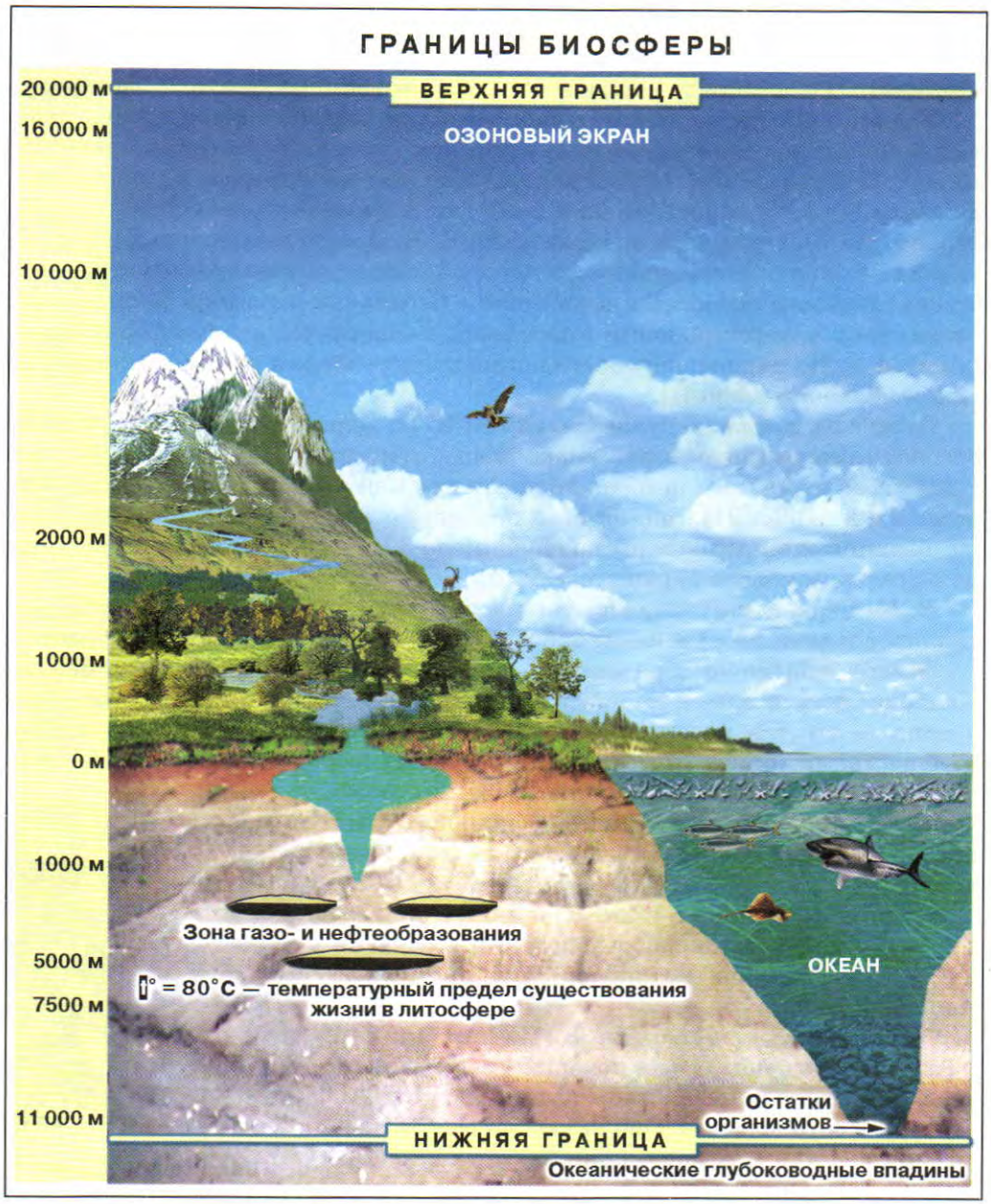


Рис. 91. Биосфера — глобальная экосистема

Биогенное вещество — это та часть неживой природы, которая возникла из тел ископаемых организмов, например: каменный уголь, нефть, известняки.

Важнейшая черта биосферы — ***глобальный круговорот веществ***. Живые организмы играют первостепенную роль в перемещении химических элементов: углерода, кислорода, азота, фосфора, серы, которые входят в состав органических веществ. Химические элементы непрерывно циркулируют в биосфере — поступают из внешней среды в организмы, а после их гибели вновь попадают во внешнюю среду.

Геологическая роль живых организмов. Множество химических соединений, входящих в состав земной коры, атмосферы и гидросферы, связаны с деятельностью бактерий, простейших, животных, растений и грибов. Многие бактерии концентрируют в своём теле железо, серу и некоторые другие составляющие литосферы. Простейшие (радиолярии) и одноклеточные диатомовые водоросли накапливают в своём скелете оксид кремния. В результате отмирания перечисленных микроорганизмов образовались месторождения серы, марганцевых и железных руд, пласты кремнезёма. Из известковых скелетов раковинных амёб, кораллов и моллюсков сформированы толщи известняков. Нефть и каменный уголь тоже образованы ископаемыми растениями и микроорганизмами.

Атмосферный кислород появился благодаря жизнедеятельности фотосинтезирующих растений. Накопление кислорода в атмосфере привело к появлению озонового экрана — слоя озона (O_3), который образуется из молекулярного кислорода (O_2) с поглощением энергии ультрафиолетовых лучей. Поэтому интенсивность губительного для жизни ультрафиолетового облучения поверхности Земли ослаблена.

Живые организмы играют важную роль в разрушении горных пород, почвообразовании, разложении мёртвого органического вещества, формировании климата. Обеспечиваемый организмами глобальный круговорот веществ поддерживает стабильные условия для существования жизни.

Таким образом, жизнедеятельность организмов можно считать мощнейшим и непрерывно действующим геологическим фактором. С момента возникновения жизни живые организмы, преобразуя и аккумулируя энергию солнечных лучей, влияли на химический состав земной коры, были и остаются мощной геохимической силой, формирующей облик Земли.

Глобальный круговорот веществ. Циркуляция химических веществ и элементов между организмами и атмосферой, гидросферой и литосферой называется ***биогенными круговоротами*** или ***биогеохимическими циклами***. Живые организмы играют первостепенную роль в круговороте эле-

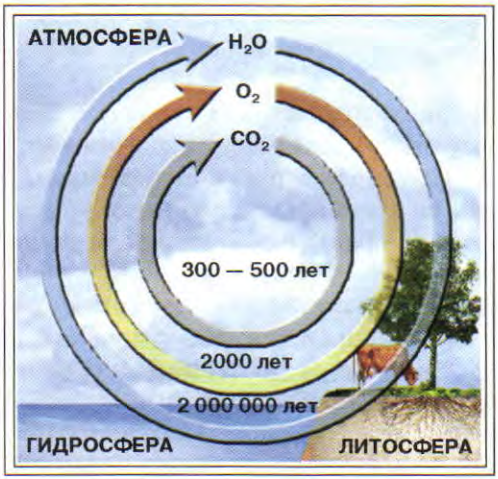


Рис. 92. Скорость круговоротов воды, кислорода и углекислого газа

ментов, входящих в состав молекул органических веществ, — углерода, кислорода, азота, фосфора и серы, а также некоторых металлов — железа и кальция.

Длительность круговоротов варьирует от нескольких сотен лет, например, у углерода до миллионов лет у воды (рис. 92). Совокупность биогенных круговоротов химических элементов и воды составляет глобальный круговорот веществ. Он осуществляется, с одной стороны, благодаря перемещению газообразных, жидких и твёрдых тел по поверхности Земли (тектонические процессы, движение воздуха и воды), а с другой стороны — благодаря биологическим круговоротам.

Примером биогеохимического цикла может служить круговорот углерода (рис. 93). Источником углерода для фотосинтезирующих растений служит углекислый газ, который содержится в воздухе или растворён в воде. Зелёные растения связывают углерод, переводя его в состав органических веществ. Эти органические вещества частично расходуются растениями, а частично поступают в пищевые цепи. В результате дыхания растений, животных и прочих организмов углерод в составе углекислого газа возвращается в окружающую среду.

Естественные процессы связывания углерода атмосферы и Мирового океана растениями и его возвращения в окружающую среду в результате дыхания практически уравновешены. Лишь незначительная часть углерода выходит из круговорота и откладывается в виде торфа на суше и в форме углекислого кальция ($CaCO_3$) на дне океанов. Перемещение воздушных масс, океанические течения и процессы обмена углекислым газом между атмосферой и гидросферой делают запасы углекислого газа общими для всех континентов и морей.

Человеческая деятельность (антропогенный фактор) — сведение лесов и сжигание ископаемого топлива — привела к тому, что содержание углерода в атмосфере ежегодно увеличивается. Количество углекислого газа в атмосфере особенно сильно растёт в течение последних 100 лет, что представляет большую угрозу экологическому равновесию планеты.

Рис. 93. Схема круговорота углерода в биосфере

Вопросы и задания

1. Объясните значение термина «биосфера». Назовите имя создателя учения о биосфере.
2. Охарактеризуйте компоненты биосферы, отмеченные Н. И. Вернадским.
3. Приведите доказательства, свидетельствующие о кардинальном изменении облика нашей планеты благодаря деятельности живых организмов.
4. Охарактеризуйте биогенные круговороты. Ответ проиллюстрируйте примерами.
5. Используя дополнительную литературу, ресурсы Интернета (www.elementy.ru, www.ru.wikipedia.org), познакомьтесь с проблемой влияния антропогенного фактора на круговорот углерода в биосфере. Подготовьте сообщение по этой теме, подкрепив его компьютерной презентацией. Выступите на уроке или школьной конференции.

§ 42. Устойчивость экосистем и проблемы охраны природы

К каким последствиям может привести деятельность человека по преобразованию природных сообществ?

Хозяйственная деятельность человека стала мощнейшей силой преобразования биосферы. Сжигание ископаемого топлива, вырубка лесов, распашка степей, строительство дорог, применение в сельском хозяйстве химических веществ для борьбы с вредителями, строительство плотин, загрязнение атмосферы и водоёмов отходами производства, охота на крупных животных, вселение чужеродных видов в природные сообщества — вот некоторые пути воздействия человека на биосферу. Любой из перечисленных факторов сильно нарушает сложившееся в ходе эволюции экологическое равновесие. Грандиозные по масштабам нарушения биотических связей, структуры и целостности экосистем приводят к тому, что самовосстановление сообществ сильно затруднено, а иногда становится вообще невозможным. В результате многие экосистемы планеты находятся под угрозой полного разрушения (рис. 94).

Одна из важнейших экологических проблем современности, которая связана с нарушением организации экосистем, — это сокращение биологического разнообразия. Оно проявляется в чрезвычайно быстрых темпах вымирания видов. Исчезновение видов, в свою очередь, ослабляет способность экосистем к самовосстановлению, что ускоряет процесс их дальнейшего разрушения. Только поняв причины этого явления, можно наметить пути сохранения биологического разнообразия планеты.

Темпы современного вымирания видов. До сих пор неизвестно общее число видов, населяющих Землю. К настоящему времени описано чуть больше 1 млн 600 тыс. видов, включая бактерии. Ежегодно списки новых видов пополняются. По некоторым оценкам, число видов на планете составляет 2—4 млн, однако по другим, это число может составлять 30 млн. Следовательно, наши представления о разнообразии жизни крайне неполны. Отметим, что пищевые потребности человека в настоящее время обеспечивают около 20 видов растений, вместе с тем съедобны не менее 75 000 видов. Около 2000 видов растений могут использоваться при лечении рака и СПИДа. Поэтому очевидно, что сокращение биологического разнообразия планеты может напрямую отразиться на благополучии человечества.

За последние 350 лет вымерли 95 видов птиц и 40 видов млекопитающих, а с учётом беспозвоночных животных, по оценкам учёных, под угрозой вымирания в настоящее время находится от 10 до 20 тыс. видов. Среди млекопитающих, которым грозит уничтожение, много копытных: быки, олени,

Рис. 94. Хозяйственная деятельность человека нарушает сложившееся в природе равновесие, приводит к гибели как отдельных видов, так и целых сообществ

антилопы, бараны, козлы, лошади. Они представляют собой важные виды-средообразователи в сообществах с преобладанием травянистых растений — в степях, лесостепях и саваннах. А если исчезают виды-средообразователи, то запускается механизм саморазрушения экосистем.

Отметим, что прямое уничтожение популяций и видов, например в результате охоты, — лишь одна, причём не самая главная, причина современного сокращения разнообразия жизни в целом. Главная угроза существованию видов — это изменение и уничтожение мест их обитания. Только в результате вырубки тропических лесов, по оценкам учёных, ежегодно исчезают 2—4 тыс. видов. В целом современные темпы вымирания видов вследствие деятельности человека в 10 000 раз превосходят темпы их естественного вымирания.

Сокращение сообществ. В настоящее время от 30 до 40 % исходной площади степей, субтропических и тропических лесов мира уже превращены человеком в сельскохозяйственные угодья. В разных областях России от 30 до 70 % площади хвойных лесов охвачены вырубками. Сохранилась только половина влажных тропических лесов, причём их площадь продолжает сокращаться на 1 % (100 000 км^2) в год. Ежегодно исчезает площадь леса, вдвое превышающая площадь Австрии (см. 2-й форзац).

Столь существенное сокращение площади природных сообществ эквивалентно сокращению энергии производителей, которая доступна потребителям, что неизбежно влечёт сокращение численности их популяций. В первую очередь в разряд вымирающих попадают крупные позвоночные животные, прежде всего крупные хищные и растительноядные млекопитающие.

Таким образом, проблема сохранения крупных хищных млекопитающих и многих крупных копытных (например, копытных европейских степей) состоит не столько в том, чтобы защитить виды от прямого уничтожения, сколько в том, чтобы сохранить участки естественных сообществ, которые способны создать биомассу, необходимую для поддержания жизнеспособных популяций.

Классическим примером разрушения природных сообществ из-за нарушения потоков энергии и круговорота веществ может служить судьба европейских ковыльных степей. Сокращение площади степей из-за повсеместной распашки и других видов хозяйственной деятельности привело к тому, что ныне сохранились лишь небольшие островки ковыльных степей на территории заповедников России и Украины.

После исчезновения таких растительноядных видов, как тарпан (вымер в начале XIX в.) и европейский сурок (сохранились лишь единичные поселения), небольшие участки степей утратили способность к самоподдер-

жанию. Прежде дерновина злаков поедалась, а отмершая растительность разрушалась копытами животных, благодаря чему было возможно прорастание семян и возобновление ковыля. Из-за накопления отмирающей растительности ковыль плохо возобновляется и вытесняется неприхотливыми луговыми злаками и бурьяном.

Таким образом, вымирание даже немногих видов-средообразователей может вызывать разрушение очень крупных сообществ и как следствие — вымирание комплексов видов, населяющих эти сообщества.

Сокращение площади природных сообществ и вызванные им нарушения природного круговорота веществ нередко несут угрозу для благополучия людей. Таковы, например, последствия уничтожения тропических лесов. В результате сведения леса на большой площади дождевая вода, которая прежде поглощалась растительностью, быстро стекает в реки, вызывая наводнения и смывая тонкий слой почвы. С поверхности, лишённой лесного покрова почвы, вода быстро испаряется, и за наводнением следует засуха. Реки уносят смытую почву в моря, в результате чего засоряются и погибают коралловые рифы — места размножения ценных промысловых видов рыб. Гибель коралловых рифов, чередование наводнений и засух, приводящие к гибели тысяч людей, — это результат сведения тропических лесов.

Известно, что нарушение стабильного сообщества всегда порождает сукцессию (см. § 40). Поэтому преобразование природных экосистем человеком приводит к масштабному замещению стабильных сообществ нестабильными, в которых связывание углерода преобладает над его выделением при дыхании. Это является причиной накопления запасов органического вещества и создания предпосылок к вселению его потребителей. А транспортное сообщение между разными регионами способствует вселению чужеродных видов.

Переселение видов человеком. Даже в давние времена человек был важным фактором переселения различных видов. Домовые мыши, обитающие ныне по всему миру, расселились из родных степей Азии и Средиземноморья около 5 тыс. лет назад вместе с домашним скарбом земледельцев.

Чёрная крыса родом из Юго-Восточной Азии. В XI в. она попала в Европу, а в XVI в. с мореплавателями — в Южную Америку. Именно крысы оказались повинны в гибели четверти населения Европы, так как паразитирующие на них блохи — переносчики бубонной чумы.

Исчезновению чёрной крысы в Западной Европе способствовало распространение серой крысы из Азии в XVIII в. Серая крыса появилась на Британских островах в 1770 г., а шесть лет спустя она уже очутилась на востоке североамериканского континента. После строительства железных дорог серая крыса освоила и западные районы США.

Родина кроликов — Пиренейский полуостров. Люди обычно перевозили с собой этих неприхотливых зверьков ради мяса. Сбежавшие из неволи кролики успешно размножались в природе. В итоге дикие кролики «завоевали» не только Европу, но и Южную Америку, Австралию и Новую Зеландию.

Похожая история и у нутрии, которую завезли из Южной Америки в Европу, чтобы заработать на продаже меха. В результате нутрия широко распространилась и, уничтожая околоводную растительность, угрожает местным видам (рис. 95).

С мореплавателями в Америку попали подорожник, одуванчик, крапива двудомная, а в Австралию и Новую Зеландию — чертополох и крестовник — ныне широко распространённые сорняки.

Для любознательных

О масштабе переселения видов свидетельствует следующий факт: в течение 1937—1948 гг. служба здравоохранения США при инспекции 80 716 самолётов, прибывших из разных стран, обнаружила 28 852 представителя различных беспозвоночных животных.

Даже при наличии строгого контроля некоторые виды организмов, завозимые в новые для них районы, представляют угрозу как для природных сообществ, так и для человека. Так, дикая африканская пчела, завезённая в Бразилию в 1956 г., в результате скрещивания с культурной пчелой образовала чрезвычайно агрессивную расу, которая распространилась по всей Южной и Центральной Америке и достигла южных штатов США. На территории бывшего СССР каждые 22 месяца обнаруживается новый вид растительноядных насекомых, продолжается расселение опасных вредителей — колорадского жука и клеща вароа (паразита медоносной пчелы).

Некоторые островные экосистемы оказались на грани разрушения из-за того, что колонисты завезли туда ряд животных. Завезённые на Гавайские острова крысы повинны в уничтожении гнездящихся на земле местных видов птиц. Для борьбы с крысами завезли мангустов, но тогда крысы перебрались на деревья. В итоге мангусты разоряли наземные гнёзда, а крысы стали угрозой для птиц, гнездящихся на деревьях. Всего на Гавайские острова были завезены 94 вида птиц, из них прижились 53 вида. Местные птицы пострадали — из 68 видов наземных птиц 26 видов исчезли, а численность ещё 13 видов ныне чрезвычайно мала.

За время освоения Новой Зеландии на острова было завезено более 600 видов животных, из них 40 видов млекопитающих и 28 видов птиц прижились. Так, скворцы вытесняют птиц местных видов из их естественных мест обитания (см. рис. 95). Кошки и собаки представляют большую угрозу для киви и совиного попугая, а перевыпас привезённых из Азии козлов-таров привёл к эрозии почв.

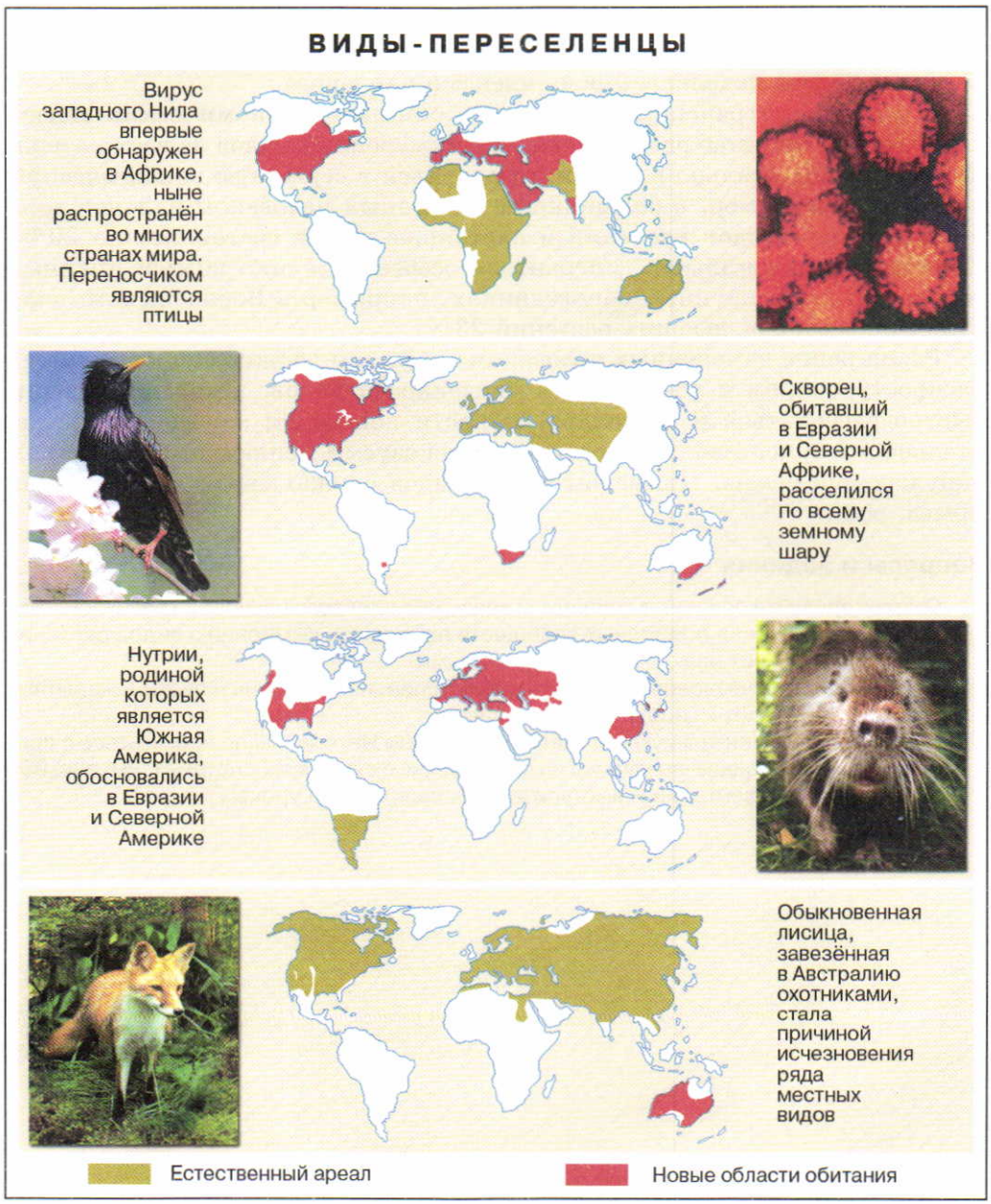


Рис. 95. Виды-переселенцы, представляющие угрозу для природных сообществ

Стабильные сообщества могут успешно противостоять вселению «чужаков». Вселенцам, как правило, нет места в стабильных сообществах, так как все ресурсы поделены между членами биоценоза.

С развитием транспортных коммуникаций и экономических связей человечества масштаб распространения чужеродных видов на всех материках Земли колоссально возрос и превратился в серьёзную экологическую проблему. Например, в большинстве освоенных человеком районов доля привнесённых видов растений в настоящее время составляет до 20 %. Количество «нелегальных мигрантов» особенно велико вблизи крупных городов. Даже в крупных заповедниках, например в Воронежском, доля чужеродных видов высших растений 23 %.

Расширение изменённых человеком экосистем должно сопровождаться распространением и увеличением численности видов, которые способны быстро расселяться и благодаря гибкости поведения и рассудочной деятельности приспосабливаться к непредсказуемо меняющимся условиям окружающей среды. Примером таких видов служат серая ворона, серая крыса, волк.

Вопросы и задания

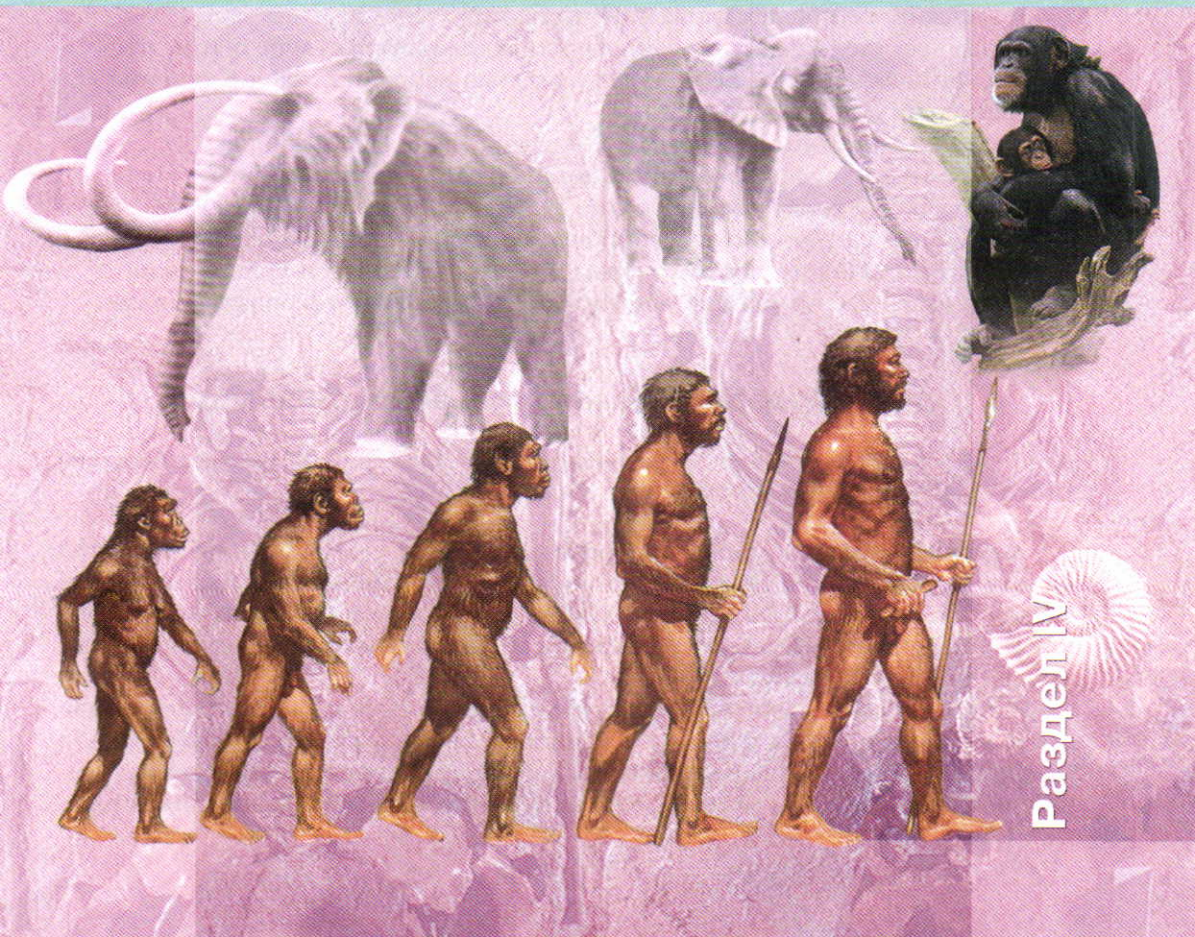
1. Охарактеризуйте основные причины сокращения видового разнообразия экосистем.
2. Почему разрушение природных сообществ приводит к вымиранию видов растений и животных? Ответ иллюстрируйте примерами.
3. Докажите, что исчезновение из экосистем степей, полупустынь и пустынь копытных животных приведёт к гибели этих сообществ.
4. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, познакомьтесь с проблемой влияния видов-вселенцев на естественные связи в экосистемах (см. рис. 95). Подготовьте презентации и выступите с сообщением на уроке.

ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Эволюционное учение 220

Возникновение и историческое развитие жизни на Земле 257

Происхождение и эволюция человека 270



Раздел IV

ЭВОЛЮЦИОННОЕ УЧЕНИЕ

Идеи об эволюции — историческом развитии жизни — зародились более тысячи лет назад. Однако представления о реальности эволюции утвердились лишь во второй половине XIX в., после того как английский учёный Ч. Дарвин впервые логически обосновал механизм эволюционных процессов живой природы.

Дальнейшее развитие науки привело к становлению ***эволюционного учения***, основоположником которого по праву считается Ч. Дарвин. Первая половина XX в. была ознаменована бурным развитием науки о явлениях изменчивости и наследственности — генетики. Знания о движущих силах эволюции, дополненные новыми сведениями о генетической структуре популяций, способствовали возникновению современного представления об эволюции.

Огромное число фактов неопровержимо свидетельствует о том, что эволюционный процесс на Земле реально осуществлялся в течение нескольких миллиардов лет.

Эволюция органического мира — это необратимый процесс исторического развития живой природы. В ходе эволюции происходит *приобретение организмами приспособлений к среде обитания, которое осуществляется в череде сменяющих друг друга поколений*. Общий вектор эволюции — повышение и усложнение организации организмов, а также увеличение многообразия жизни.

§ 43. Додарвиновская научная картина мира

Какие примеры эволюционного развития вы помните из курса биологии 6, 7 и 8-го классов?

Зарождение эволюционных представлений. В научной картине мира вплоть до середины XIX в. господствовало представление о неизменности живой природы. Однако зачатки эволюционных идей можно найти уже в трудах мыслителей Древнего Востока и высказываниях античных философов (VI—V вв. до н. э.).

Эпоха Великих географических открытий познакомила европейцев с поразительным многообразием жизни в тропиках. Это способствовало развитию ботаники и зоологии, созданию гербариев, ботанических садов, зоологических музеев. Описание огромного разнообразия видов вело

к отказу от представлений об их неизменности и утверждению идеи об историческом развитии природы. Жорж Бюффон во Франции, Эразм Дарвин в Англии, Вольфганг Гёте в Германии и другие натуралисты-мыслители высказывались в пользу эволюционного возникновения и развития жизни на Земле. Однако их идеи не были подкреплены научными фактами, поэтому не могли рассматриваться как научные теории.

Для любознательных

Первое целостное эволюционное учение было создано известным французским учёным Ж. Б. Ламарком и изложено в труде «Философия зоологии» (1809). Ламарк доказывал, что все организмы способны постоянно изменяться и преобразовываться в новые виды. Общая тенденция исторического развития органического мира — это постепенное усложнение организации живых существ и возникновение высших форм жизни на основе более простых.

Движущей силой усложнения организации Ламарк считал внутреннее, т. е. независимое от внешней среды, стремление организмов к совершенствованию, что заложено в них изначально. Он отмечал, что эволюция носит не только прогрессивный, но и приспособительный характер. В отличие от процесса усложнения организации формирование приспособлений организмов к среде обитания обусловлено влиянием внешних условий. Растения воспринимают изменение условий через обмен веществ, а у животных изменения условий приводят к упражнению одних органов и неиспользованию других. При этом результаты усиленного упражнения или неупражнения органов наследуются (рис. 96).

Положение о наследовании приобретённых признаков оказалось ошибочным и было в дальнейшем опровергнуто данными генетики. Не удалось Ламарку объяснить и движущие силы эволюции. Но всё же Ламарка справедливо считают создателем первого эволюционного учения, в котором идея изменяемости видов объединена с идеей прогрессивной эволюции.

Предпосылки возникновения эволюционного учения Ч. Дарвина. В странах Западной Европы, особенно в Англии, в первой половине XIX в. интенсивно развивалась промышленность, росло население городов. Спрос на сырьё и продукты питания способствовал развитию биологии и сельского хозяйства. Селекционеры вывели новые породы крупного рогатого скота, лошадей, овец, домашних птиц и сорта культурных растений. Успехи практической деятельности человека по преобразованию растений и животных наталкивали на мысль об изменчивости видов в природе. Именно на данные селекции и практику сельского хозяйства опирался Ч. Дарвин при разработке положений о движущих силах эволюции.

Возникновению учения Дарвина способствовали как отдельные открытия, так и целостные теоретические обобщения, разработанные в естест-

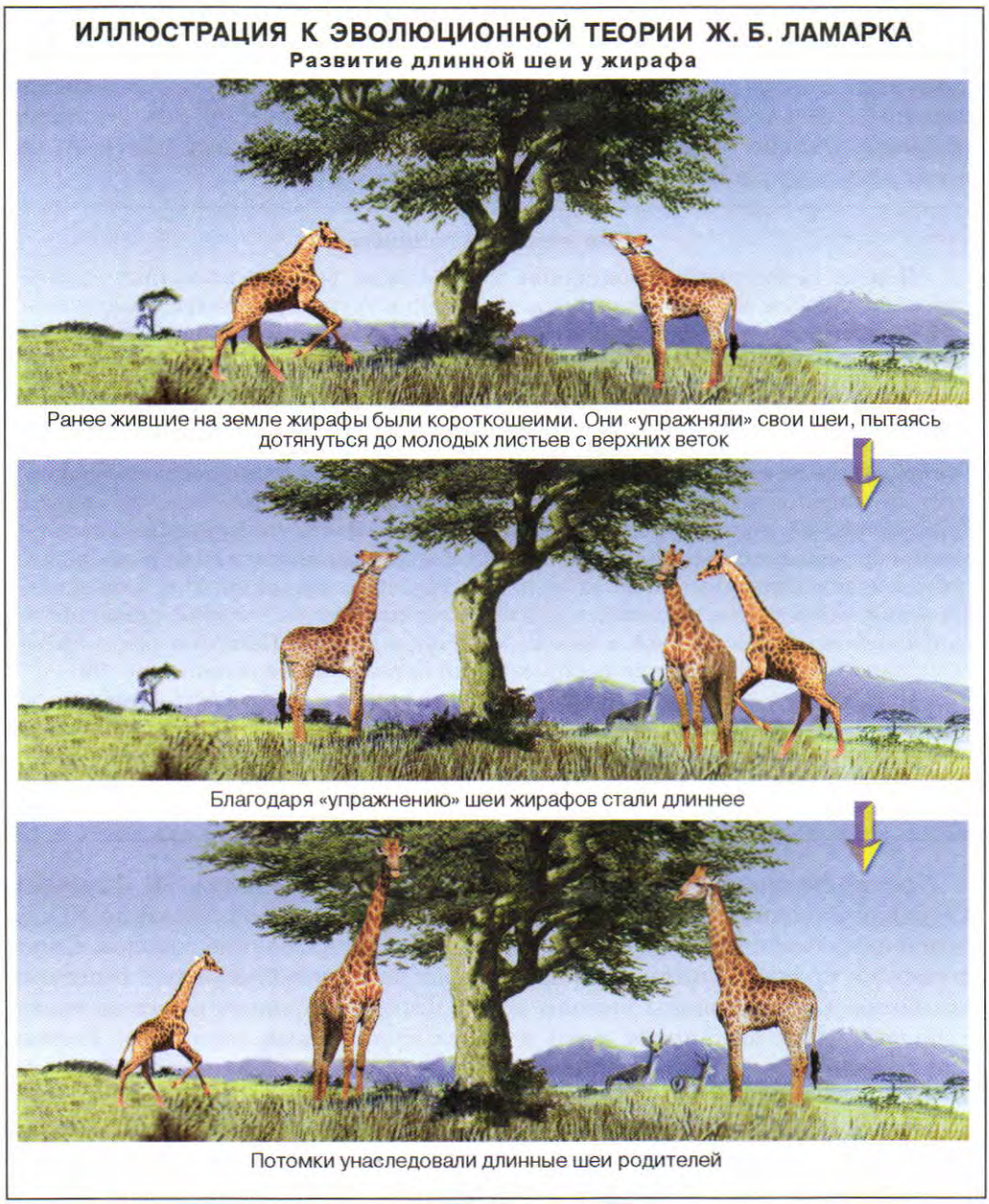


Рис. 96. Развитие длинной шеи у жирафа согласно эволюционной теории Ж. Б. Ламарка

вознании в XVIII и первой половине XIX в. В частности, большое значение имели данные сравнительной анатомии и морфологии, которые свидетельствовали о едином плане строения различных видов растений, сходстве в деталях скелета, мышц, сосудов, нервов позвоночных животных. Исследование зародышей на ранних стадиях у представителей разных классов типа хордовых также выявило их поразительное сходство. Сторонники клеточной теории утверждали, что структурной единицей живого служит клетка, и подводили к мысли о единстве происхождения растительного и животного мира. Изучение древнейших ископаемых видов растений и животных раскрыло последовательную смену низкоорганизованных форм жизни более высокоорганизованными. Важную роль в формировании эволюционных взглядов Ч. Дарвина сыграли учения английского геолога Ч. Лайеля о геологической эволюции Земли, положения немецкого философа И. Канта о возможности эволюции космических тел.

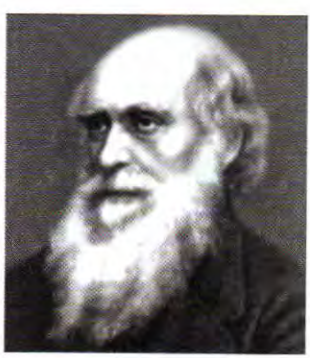
Вопросы и задания

1. Докажите, что эпоха географических открытий повлияла на развитие эволюционных идей.
2. Объясните термин «эволюция органического мира».
3. Охарактеризуйте предпосылки возникновения эволюционного учения.
4. Используя материал рубрики «Для любознательных» и информацию, представленную на рис. 96, перечислите и охарактеризуйте основные положения эволюционной теории Ж. Б. Ламарка.

§ 44. Чарлз Дарвин и его учение

Каковы причины эволюции по Ламарку?

Ч. Дарвин. Чарлз Роберт Дарвин — сын известного врача и внук английского натурфилософа и поэта Эразма Дарвина. В университете Эдинбурга он обучался сначала на медицинском, потом на богословском факультетах и собирался стать священником. В то же время он проявлял большой интерес к ботанике, зоологии и геологии.



Чарлз Роберт Дарвин
(1809—1882)

После окончания университета Ч. Дарвин участвовал в качестве натуралиста в кругосветном путешествии на корабле «Бигль» (рис. 97). Пять лет, проведённые им в экспедиции (1831—1836), оказали значительное влияние не только на его

Рис. 97. Пять лет провёл Ч. Дарвин в качестве натуралиста в кругосветной экспедиции на судне «Бигль»

дальнейшую судьбу, но и на всю последующую историю биологической науки.

Наблюдения, сделанные Дарвином в кругосветном путешествии, заставили его задуматься о причинах сходства и различия между вымершими и современными видами. Так, в Южной Америке он обнаружил останки древнейших гигантских ленивцев и броненосцев, сравнил эти вымершие виды с современными и установил их родство. На вулканических островах Галапагосского архипелага Дарвин изучал виды птиц, черепах, ящериц, которые нигде больше не встречались, но были очень похожи на южноамериканские виды. Учёный сделал вывод: животные попали на острова с материка и изменились в результате приспособления к новым условиям обитания.

Перечисленные и многие другие факты говорили об изменяемости видов, т. е. об их эволюции. Вернувшись в Англию, Дарвин поставил перед собой задачу выяснить, как возникают новые виды организмов и как они приспосабливаются к среде обитания.

Первый набросок эволюционного учения Дарвин сделал в 1842 г., а окончательно завершил работу над ним лишь в 1859 г. Главная заслуга Дарвина состоит в том, что он объяснил, как могут происходить эволюционные изменения, исходя из реальных свойств живых организмов.

Для любознательных

Отметим, что одновременно с Дарвиным к сходным научным выводам пришёл другой английский учёный-натуралист и путешественник — А. Уоллес. Признавая, что Дарвин гораздо полнее и глубже, чем он, разработал теорию эволюции, Уоллес уступил приоритет Дарвину и ввёл в науку термин «дарвинизм».

Далеко не все учёные того времени приняли эволюционное учение Дарвина. В одном из своих трудов Дарвин писал: «Хотя мне предстоит больше пинков, чем пенсов, я не откажусь от своего труда».

Ч. Дарвин умер в 1882 г. и был похоронен как национальный герой в Вестминстерском аббатстве в Лондоне, рядом с И. Ньютоном.

Основные положения эволюционного учения Дарвина. Своё учение Дарвин изложил в книге «Происхождение видов путём естественного отбора, или Сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь». Основные положения учения раскрывают движущие силы и результаты эволюционного процесса.

Анализ селекционной практики позволил Дарвину заключить, что человек создаёт сорта растений и породы животных на основе наследственной изменчивости и искусственного отбора. При этом наследственная изменчивость даёт лишь материал для отбора: человек получает потомство только от тех особей, которые обладают полезным для него наследственным изменением. Проявление этого наследственного изменения прослеживается в течение многих поколений. В результате целенаправленного отбора это изменение усиливается и превращается в признак породы или сорта, отвечающий потребностям человека. Понимание происхождения сортов и пород позволило объяснить происхождение видов в дикой природе.

Основные положения учения Дарвина сводятся к следующему.

- Способность организмов размножаться предполагает увеличение их численности в геометрической прогрессии. Однако в природе этого никогда не происходит. Большая часть особей гибнет по разным причинам, и лишь небольшая часть потомков доживает до взрослого состояния и в свою очередь оставляет потомство.
- Материалом для естественного отбора служит наследственная изменчивость. Особи с благоприятными в данных условиях среды наследственными изменениями получают преимущество в борьбе за существование.
- ***Борьба за существование*** вытекает из противоречия между безграничной способностью организмов к размножению и ограниченностью необходимых для жизни ресурсов. Из этой предпосылки возникает конкуренция, в которой побеждает сильнейший.

- Результатом борьбы за существование является ***естественный отбор***, т. е. выживание наиболее приспособленных особей. Как следствие именно они оставляют многочисленное плодовитое потомство, которое унаследует благоприятные признаки.

Наследственная изменчивость, борьба за существование и естественный отбор — это ***основные движущие силы***, или ***факторы, эволюции***. В результате эволюции возникают приспособления к меняющимся условиям среды, появляются новые виды и высокоорганизованные формы жизни на основе более простых.

Вопросы и задания

1. Назовите факты, подмеченные Ч. Дарвином во время кругосветного путешествия и подтолкнувшие его к мысли об изменяемости видов.
2. Ч. Дарвин писал: «Удалите то или иное препятствие, сократите хотя бы незначительно истребление, и численность вида почти моментально пойдёт вверх». О каком факторе эволюции идёт речь? Используя дополнительную литературу, приведите примеры бесконтрольного роста численности вида на ограниченной территории.
3. Проследите причинно-следственные связи между наследственной изменчивостью, борьбой за существование и естественным отбором.
4. К каким результатам приводит эволюция?
5. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета (www.ru.wikipedia.org), подготовьте сообщение-презентацию о жизни Ч. Дарвина и его научном труде «Происхождение видов путём естественного отбора, или Сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь».

§ 45. Борьба за существование. Естественный и искусственный отбор

Каковы движущие силы эволюции?

Формы борьбы за существование. Дарвин выделил три формы борьбы за существование: внутривидовую, межвидовую и борьбу с неблагоприятными условиями среды (рис. 98).

Внутривидовая борьба происходит между особями одного вида. Она протекает наиболее остро, так как все особи одного вида, обладая одинаковыми потребностями, используют сходные пищевые ресурсы и места обитания, количество которых ограниченно, а также соперничают за полового партнера. Внутривидовая борьба играет большую роль в эволюции: приводя к гибели слабых, она обусловливает выживание и успешное размножение наиболее приспособленных особей, тем самым способствует процветанию вида.

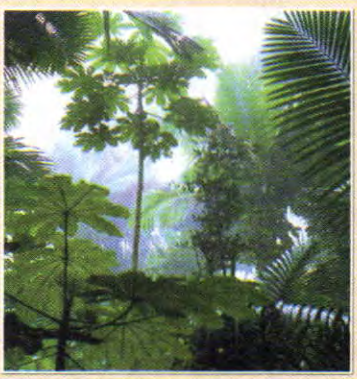
ФОРМЫ БОРЬБЫ ЗА СУЩЕСТВОВАНИЕ

Внутривидовая

Львы выясняют отношения в борьбе за территорию

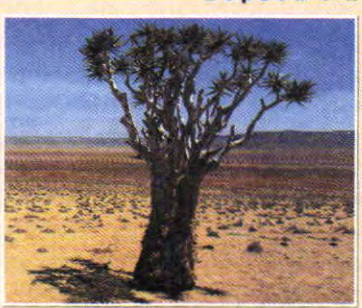
Борьба за пищу

Межвидовая



Хищники конкурируют за добычу, растения — за свет, влагу и минеральные вещества

Борьба с неблагоприятными факторами



К жизни в пустыне приспособлены лишь немногие виды растений

Необычная форма берёз — результат холодных ветров, постоянно дующих с Белого моря

Рис. 98. Примеры борьбы за существование можно нередко наблюдать в природе

Вспомните, каковы особенности и последствия пищевых отношений и конкуренции.

Межвидовая борьба происходит между особями разных видов в процессе пищевых отношений («хищник — жертва», «паразит — хозяин», «растение — травоядное животное») и конкуренции.

Борьба за выживание между хищниками и их жертвами ведёт к развитию у них взаимных приспособлений. У хищников оттачиваются способы обнаружения и ловли добычи, а у жертв совершенствуются способы избегания хищников. Формы защиты от врагов исключительно разнообразны: от маскирующей формы тела и окраски до сложных поведенческих приспособлений. Многие потенциальные жертвы образуют группы. В этом случае к ним труднее подкрасться незамеченным — в колонии сусликов, стае скворцов или стаде антилоп всегда кто-то настороже. У хищников — свои приёмы: львы и волки, чтобы одолеть превосходящую по размерам добычу, охотятся коллективно, причём роли охотников чётко распределены — одни гонят жертву к определённому месту, другие подстерегают ёе там и неожиданно нападают.

Разнообразные описанные выше (§ 36) случаи конкуренции — это тоже примеры межвидовой борьбы за существование, в результате которой выживают наиболее приспособленные.

Борьба с неблагоприятными условиями внешней среды происходит в тех случаях, когда организмы подвергаются воздействию экстремальных абиотических факторов — тепла или холода, сухости или влажности. Так, в исключительно морозные зимы середины 1940-х годов в европейской части России наблюдалась массовая гибель кротов. В условиях длительных холодов выживали только самые мелкие животные, а относительно крупные погибали, так как не могли найти достаточного количества пищи. Иными словами, мелкие кроты оказались лучше приспособленными к перенесению длительных морозов.

Таким образом, любая форма борьбы за существование приводит к тому, что выживают и оставляют потомство наиболее приспособленные особи.

Естественный и искусственный отбор. Изменчивость организмов и их потенциально высокая способность к размножению известны давно. Но именно Ч. Дарвин, сопоставив эти два факта, сделал гениальный вывод: в процессе борьбы за существование выживают лишь те организмы, которые обладают полезными в данных условиях особенностями строения или поведения. Следовательно, вероятность выживания неодинакова — особи, обладающие хотя бы незначительными преимуществами, имеют больше шансов выжить и оставить потомство. Преимущественное выживание и размножение наиболее приспособленных особей Дарвин назвал естественным отбором.

Природа поставляет самые разнообразные наследственные изменения. Человек путём отбора и многократного скрещивания особей с нужными признаками формирует породы животных и сорта растений, которые отвечают его интересам. Одни полезны в качестве пищи и сырья (коровы, свиньи, овцы), другие служат для охраны и охоты (собаки), третьи — для занятий спортом (лошади), четвёртые — для эстетического наслаждения (аквариумные рыбки и декоративные цветы). Творческую деятельность человека по выведению сортов растений и пород животных Дарвин назвал искусственным отбором (см. § 30).

В большинстве случаев селекционер вначале имеет дело с едва заметными наследственными изменениями, которые в результате селекции закрепляются и становятся более выраженными. Например, из обыкновенного (золотого) карася в результате отбора и скрещивания рыб с наиболее выпуклыми глазами, укороченным бочкообразным телом и длинными вуалевыми плавниками были получены такие породы золотых рыбок, как телескоп и вуалехвост.

В Европе к середине XIX в. насчитывалось более сотни пород домашнего скота, которые произошли от нескольких диких видов: свиньи — от кабана, коровы — от вымершего ныне тура, овцы — от горного барана, козы — от бородатого козла. Многочисленные породы собак ведут начало от волка. Общий предок разнообразных пород кур — дикая банкивская курица, обитающая в Юго-Восточной Азии. Более 4000 сортов пшеницы произошли от растущих в природе видов — однозернянки и эймера.

Таким образом, в результате искусственного отбора из небольшого числа диких видов создаётся большое разнообразие сортов и пород.

В чём разница между искусственным и естественным отбором? Материалом как для первого, так и для второго служат наследственные изменения. Но скорость искусственного отбора, который ведётся по одному или малому числу признаков, значительно выше скорости естественного отбора, который идёт в природе по комплексу признаков. Сорт или породу можно создать в течение отрезка времени, достаточного для смены нескольких десятков поколений, — от нескольких месяцев у насекомых (медоносная пчела) до нескольких десятков лет у крупных позвоночных животных или деревьев.

Формирование новых видов путём естественного отбора обычно требует смены большого числа поколений (за исключением случаев полиплоидии). Например, на Гавайских островах обитает около 500 видов мух-дрозофил, которые образовались в течение нескольких десятков тысяч лет из поселявшихся на островах мигрантов. Результатом естественного отбора является формирование приспособительных признаков, соответствующих природной среде обитания, в то время как в результате искусственного отбора создаются формы с полезными для человека признаками. Результатом естест-

венного отбора является формирование приспособительных признаков, соответствующих природной среде обитания.

ПРОВЕДИТЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Исследование причин внутривидовой борьбы за существование и объяснение полученных результатов

Цель работы — на примере посевов культурных растений выявить причины внутривидовой борьбы за существование.

В ящики с землёй посейте семена декоративных растений (например, бархатцев) с разной степенью густоты: в первый — очень густо, во второй — менее густо, в третий — редко.

Сформулируйте гипотезу о том, какие растения (в каком ящике) будут испытывать наиболее острую внутривидовую борьбу.

В ходе исследования наблюдайте за ростом и внешним видом (высота, облиственность, число и размер цветков) растений, произрастающих в разных ящиках.

По результатам исследования сделайте вывод. Подтвердилась ли ваша гипотеза? Отчёт о работе подготовьте в форме презентации и выступите перед одноклассниками.

Вопросы и задания

1. Сравните выделенные Дарвином формы борьбы за существование; охарактеризуйте каждый из них.
2. Объясните, в чём Чарлз Дарвин видел причины борьбы за существование.
3. Охарактеризуйте выражение «наиболее приспособленные особи» с точки зрения знаний о наследственности и изменчивости.
4. Докажите, что именно естественный отбор — движущий фактор эволюции.
5. Сравните искусственный и естественный отбор. Выявите черты сходства и различия.

§ 46. Современные взгляды на факторы эволюции

Что способствовало становлению современных взглядов на эволюцию?

Популяция — единица эволюции. Несмотря на то что отдельные популяции в пределах ареала вида относительно обособлены, между ними всегда происходит обмен особями. Это обеспечивает взаимосвязь между разными популяциями и, следовательно, целостность вида.

Совокупность генов и генотипов популяции называют ***генофондом***. Совокупность генофондов разных популяций образует генофонд вида. Генофонд любой популяции уникален, так как, отражаясь в морфофизиологических признаках, обеспечивает приспособленность особей к специфичным для данной местности условиям обитания.

С течением времени генофонд популяции не остаётся неизменным. Мутационный процесс, равно как миграции особей, ведёт к тому, что в популяции появляются носители новых признаков. Естественный отбор «отбраковывает» особей с «неудачными» признаками (следовательно, и генотипами) и благоприятствует жизни и размножению носителей «удачных» признаков (следовательно, и генотипов).

Итак, по мере смены поколений генофонд популяции меняется под действием естественного отбора. Соответственно меняется и соотношение разных генотипов в популяции, т. е. её генотипическая структура. Этот процесс представляет собой элементарное эволюционное событие и при определённых условиях может привести к образованию новых видов.

Мутационная изменчивость — материал для естественного отбора. Наибольшую роль в эволюции играют генные мутации. Большинство генных мутаций рецессивные и внешне не проявляются, так как находятся в гетерозиготном состоянии под «прикрытием» нормального фенотипа. Такие мутации не попадают под действие естественного отбора и могут накапливаться в популяции.

В результате скрещивания возможность перехода мутаций в гомозиготное состояние и, следовательно, внешнего их проявления возрастает. Новые признаки попадают под действие естественного отбора. Именно мелкие наследственные изменения служат материалом для естественного отбора. Впервые этот вывод сделал русский генетик С. С. Четвериков в работе «О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики» (1926), послужившей основой для нового взгляда на факторы эволюции.

Естественный отбор — направляющий фактор эволюции. Мутационный процесс изменяет генофонд популяции случайно и не направленно. Естественный отбор направляет эволюцию популяции в сторону приспособленности к конкретным условиям среды.

В качестве классического примера направляющей роли отбора приведём историю, произошедшую на Британских островах. У обитающей там ночной бабочки берёзовой пяденицы исходная форма окраски имитировала заросшую светлыми лишайниками кору берёзы (рис. 99). Развитие металлургии в XIX в. привело к тому, что в лесах близ промышленных городов стали гибнуть древесные лишайники, а кора берёз, на которых проводили дневное время пяденицы, потемнела от копоти. Первые экземпляры темноокрашенных бабочек были отмечены энтомологами в 1850 г. На фоне тёмных стволов преимущество стали получать покровительственно окрашенные тёмные пяденицы. Светлые формы значительно чаще склёвывались насекомоядными птицами. Эти наблюдения были подтверждены и экспериментально. Итак, в новых условиях среды отбор может менять направление.

Светлая форма берёзовой пяденицы имеет преимущество на светлых стволах

На фоне тёмных стволов деревьев в промышленных районах преимущество получила тёмная форма берёзовой пяденицы

Рис. 99. Изменение соотношения светлых и тёмных форм берёзовой пяденицы — результат отбора

Для любознательных

В среде, которая длительное время остаётся более или менее постоянной, отбор направлен против изменчивости и сохраняет уже существующие приспособления. Поэтому фенотип некоторых видов может сохраняться практически неизменным многие миллионы лет, тогда говорят о «живых ископаемых» (рис. 100). Например, облик гаттéрии, древнейшего из ныне живущих пресмыкающихся, обитающего в Новой Зеландии, не менялся 200 млн лет, нильского крокодила — 70 млн лет, мечехвоста, древнейшего представителя членистоногих, — 300 млн лет, наутилуса, дальнего родственника осьминогов, — 400 млн лет. Из древнейших растений, доживших до наших дней в первозданном виде, можно назвать араукарию (200 млн лет), гинкго (200 млн лет), секвойю (150 млн лет).

Популяционные волны — фактор эволюции. Одна из постоянных и важных черт популяции — колебание её численности. Впервые на эволюционное значение этого явления обратил внимание С. С. Четвериков и назвал его ***волнами жизни*** (популяционными волнами). Конкретные причины колебаний численности могут быть очень разнообразны и вызваны как абиотическими (пожар, засуха, наводнение), так и биотическими (например, вспышка инфекционных заболеваний) причинами. Действие популяционных волн как фактора эволюции предполагает случайное уничтожение особей. При этом генотипический состав популяции может совершенно непредсказуемо меняться: редкий до падения численности генотип может сделаться обычным и быть подхваченным естественным отбором, а может и вовсе исчезнуть.

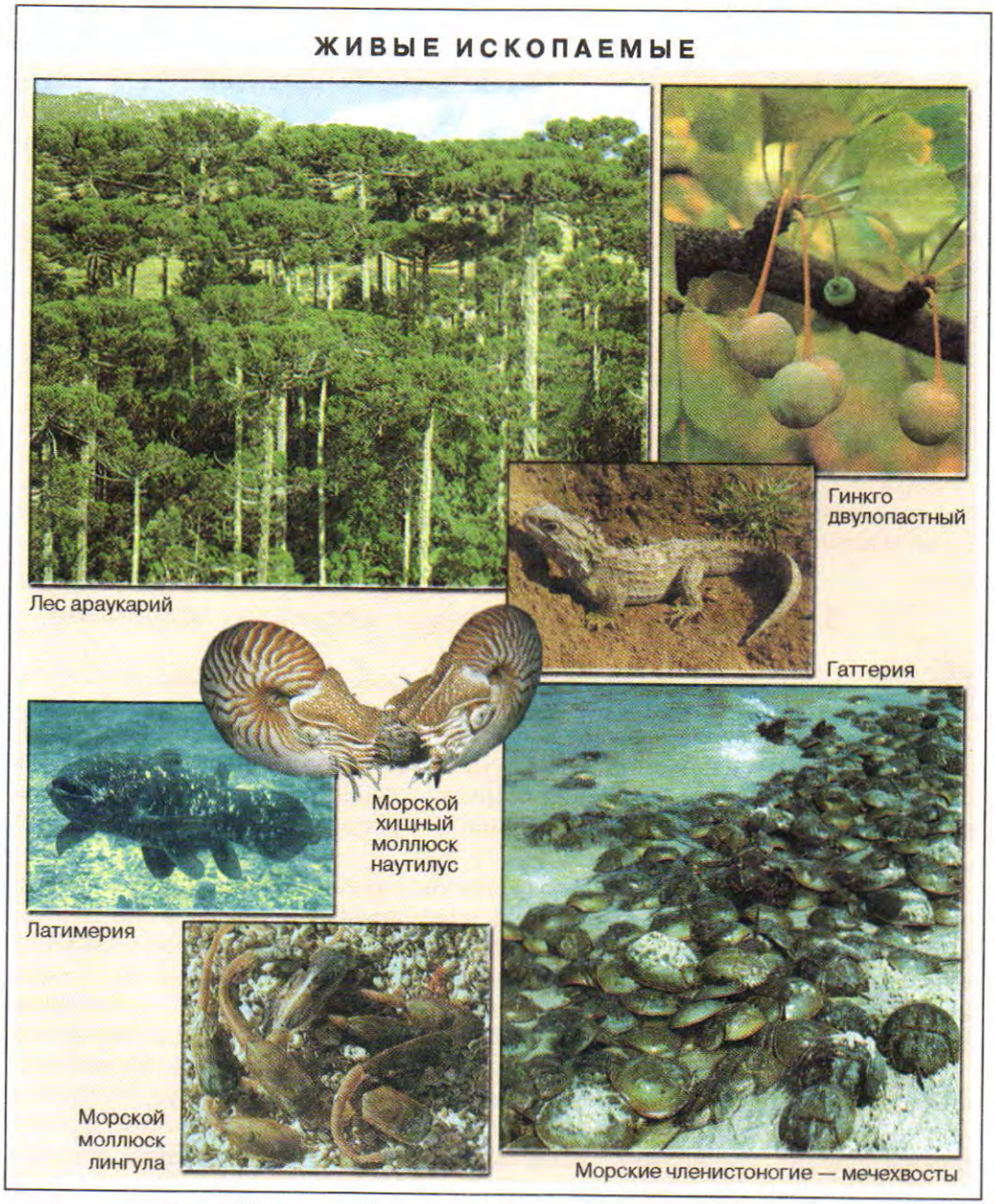


Рис. 100. Виды, облик которых не менялся миллионы лет

***Изоляция* — фактор эволюции.** Значение изоляции, т. е. возникновения барьеров, препятствующих свободному скрещиванию особей из соседних популяций, состоит в накоплении генетических различий между популяциями. Изолированные популяции неизбежно подвержены различным направлениям отбора (из-за экологических различий местности), а изоляция прекращает поток генов из популяции в популяцию. Постепенно разница между генофондами изолированных популяций может увеличиться настолько, что даже при разрушении изоляционных барьеров скрещивание особей становится затруднительным или невозможным.

Вопросы и задания

1. Докажите, что популяция является единицей эволюции.
2. Охарактеризуйте роль мутационной изменчивости в эволюционном процессе.
3. Охарактеризуйте влияние популяционных волн на процессы эволюции в популяциях.
4. Используя информацию, представленную на рис. 100, а также материал рубрики «Для любознательных», объясните, в чём причина существования в настоящее время видов, появившихся миллионы лет назад. По материалам Интернета (www.elementy.ru, www.ru.wikipedia.org) и научно-популярной литературы составьте презентацию о «живых ископаемых» и выступите с сообщением в классе.

§ 47. Приспособленность — результат эволюции

Какие явления лежат в основе формирования приспособлений?

Когда полезное наследственное изменение подхватывается отбором, т. е. закрепляется и распространяется в популяции, можно говорить о возникновении приспособления. Приспособление — это результат эволюции, который повышает выживаемость и репродуктивный успех особей в популяции.

Отдельные приспособления всегда относительны, так как при изменении условий среды они могут терять свой положительный эффект для особей. Например, белая зимняя шерсть зайца-беляка хорошо маскирует животное, если земля покрыта снегом. Однако если весной снег тает слишком рано, когда заяц ещё не сменил свой белый зимний наряд на серый летний, то животное очень заметно на тёмном фоне, следовательно, более доступно для хищника.

Приспособления выражены в морфофизиологических свойствах или поведении особей. Одни приспособления сравнительно просты, например колючки у дикобраза, защищающие этих грызунов от хищников. Другие приспособления чрезвычайно сложны, например комплекс поведенческих реакций и физиологических процессов, обеспечивающих размножение кукушек, подкидывающих яйца в чужие гнёзда. Приспособления всегда

соответствуют каким-то факторам среды. Иначе говоря, это те особенности организмов, которые помогают выжить в конкретных условиях.

Общие приспособления к среде обитания. Любая среда обитания: водная стихия, поверхность суши или почва — характеризуется сложным комплексом своеобразных экологических факторов, и все обитатели той или иной среды должны обладать соответствующими приспособлениями для жизни в ней.

Рассмотрим некоторые наиболее общие приспособления водных животных (рис. 101). Большая плотность и значительная выталкивающая сила воды позволяют многим её обитателям постоянно «парить» в толще воды, не опускаясь на дно. Таковы планктонные организмы. Многие из них обладают приспособлениями, например разнообразными выростами, которые увеличивают общую поверхность тела и способствуют удержанию его в толще воды.

У хорошо плавающих животных обтекаемая форма тела, развитая мускулатура и специфические органы передвижения в форме лопастей (плавников) способствуют преодолению сопротивления плотной среды и обеспечивают быстрое перемещение. Сходными по строению плавательными конечностями обладают филогенетически неродственные организмы. С одной стороны, это рыбы, весь эволюционный путь которых связан с водной

Рис. 101. Приспособления животных к жизни в водной среде

средой. С другой стороны, это некоторые млекопитающие (китообразные, ластоногие), перешедшие к водному образу жизни вторично (их предки были сухопутными обитателями).

Большая теплоёмкость воды неизбежно влечёт большую потерю тепла теплокровными её обитателями. Температура их тела значительно выше температуры окружающей среды, поэтому отбор способствовал выработке приспособлений для снижения теплопотерь. Главные из них — толстый слой подкожного жира и крупные размеры тела, уменьшающие относительную поверхность животного. Эти черты свойственны всем млекопитающим, которые ведут водный образ жизни (китообразные, ластоногие) или подолгу плавают в очень холодной воде (белый медведь — самый крупный наземный хищник).

Итак, у разных групп организмов естественный отбор способствовал формированию сходных приспособлений, соответствующих главным свойствам среды.

Маскировка. Многие черты облика и поведения животных — приспособления для того, чтобы избежать нападения хищника или незаметно приблизиться к жертве. Прежде всего это разные способы маскировки, которые делают животных малозаметными, следовательно, более жизнеспособными.

Широко распространена в природе ***покровительственная окраска тела*** (рис. 102). У различных птиц, гнездящихся на земле (курообразные, кулики, козодои, жаворонки), насиживающая самка, а иногда и самец почти неотличимы от окружающего фона. Как правило, пигментированная скорлупа яиц и окраска птенцов этих птиц также сливаются с фоном. Некоторые животные (камбала, хамелеоны) способны к быстрому изменению окраски, что позволяет им быть незаметными на разном фоне.

Эффект покровительственной окраски усиливается, если животные затаиваются или принимают своеобразные позы. Например, затаившуюся на дереве сову или застывшего козодоя легко принять за обломок сухой ветки.

Нередко покровительственная окраска сочетается с формой тела, напоминающей элементы окружающей природы. Особенно широко это распространено среди насекомых: одни — палочники — почти неотличимы от тонких веточек, другие — некоторые бабочки и прямокрылые — удивительно похожи на листья.

Предупреждение об опасности. Преимущества, которые получают животные вследствие незаметности, очевидны, вот почему соответствующие признаки в результате естественного отбора закрепились в популяциях. Среди животных, однако, немало видов с яркой и броской окраской. В каких случаях яркая окраска может повышать приспособленность популяции?

Яркими элементами окраски — контрастными пятнами и полосами (вспомните, например, окраску осы или клопа-солдатика) — обладают

Рис. 102. Покровительственная окраска тела у животных

прежде всего ядовитые животные, в том числе жалящие насекомые. Это так называемая ***предостерегающая окраска тела*** (рис. 103). Она словно предупреждает об опасности или несъедобности таких организмов.

Рефлекс избегания ядовитых пищевых объектов вырабатывается у животных чрезвычайно быстро, порой с первого раза. Поэтому, отведав яркое ядовитое или жалящее насекомое (например, божью коровку или осу), птица сразу запомнит его внешность и вряд ли схватит снова. Соответственно, среди ядовитых насекомых выживают преимущественно те, которые сильнее отличаются от съедобных. Чем заметнее ядовитое насекомое, чем проще его

Рис. 103. Примеры предостерегающей и подражательной окраски у животных

узнать среди множества других, тем меньше для него вероятность подвергнуться нападению хищника. В результате отбора на заметность и узнаваемость возник весьма характерный тип окраски — сочетание пятен или полос жёлтого, чёрного и красного цвета, который свойствен ядовитым животным различных систематических групп — от насекомых и пауков до земноводных (ядовитые древесные лягушки) и пресмыкающихся (кобровый аспид).

Среди хищников отбор благоприятствовал тем особям, которые реже ошибались с выбором жертвы или отказывались от охоты на объекты с предостерегающей окраской. В результате многие животные (в том числе и человек) инстинктивно настораживаются или пугаются при виде существ с такой окраской. Этим «пользуются» некоторые неядовитые животные,

подражая в окраске ядовитым. Такое явление называется ***мимикрией*** (от англ. *mimicry* — подражательность). Например, неядовитые мухи-журчалки или бабочки-стеклянницы очень похожи на ос (см. рис. 103). Следует отметить, что мимикрия эффективна только при условии превосходящей численности ядовитых «моделей для подражания».

Комплексность приспособлений. В природных популяциях отбор никогда не идёт только по какому-то одному признаку. Среда сложна и изменчива, поэтому выживают и оставляют потомство те особи, которые обладают комплексом приспособительных черт. Отдельные приспособления дополняют друг друга, и мы видим удивительно гармоничное сочетание морфологических, физиологических и поведенческих особенностей вида, соответствующих его экологической среде обитания и образу жизни.

Обыкновенная кукушка — яркий пример вида с исключительно сложным сочетанием различных приспособлений для успешного размножения. Эти птицы — гнездовые паразиты. Они подкладывают свои яйца в гнёзда различных мелких воробьиных птиц: пеночек, трясогузок, варакушек и др.

Яйца разных видов воробьиных окрашены по-разному: у белой трясогузки, например, яйца всегда белого цвета, а у варакушки — всегда голубые. У обыкновенной кукушки, в отличие от других птиц, существует большая изменчивость по окраске яиц, которая поддерживается естественным отбором. Приспособительное значение такой изменчивости налицо — она позволяет кукушкам подкладывать яйца в гнёзда очень многих видов птиц — учёным известно около 50 видов-воспитателей.

Если в гнезде варакушки окажется белое или крапчатое яйцо, то хозяева выкинут «подкидыша». Если же яйцо совпадёт по цвету с кладкой хозяина, то у него есть шанс уцелеть. Почему же в гнезде трясогузки, как правило, оказывается белое яйцо кукушки, а в гнезде варакушки — голубое? Откуда кукушка «знает», в какое гнездо ей надо подложить яйцо?

Оказывается, окраска яиц у кукушки наследуется по материнской линии, а её птенец в первые дни жизни навсегда запоминает облик приёмных родителей (это явление называется *запечатлением*). Поэтому на следующий год повзрослевшая самка будет откладывать яйца в гнёзда того же вида-воспитателя. Таким образом, запечатление облика вида-воспитателя — важная приспособительная черта поведения кукушки.

Другая важная приспособительная черта поведения кукушки — скрытность и наблюдательность. Для того чтобы выяснить, где находится гнездо, кукушка систематически наблюдает за тем, как птицы его строят. Если хозяева гнезда увидят кукушку поблизости, то они наверняка оставят гнездо навсегда. Поэтому успешными в размножении оказываются те кукушки, которым удаётся подложить яйцо незаметно для хозяев, когда тех нет рядом с гнездом.

Развитие эмбриона и птенца кукушки происходит быстрее, чем у других птиц. Кукушонок появляется на свет обычно раньше, чем птенцы вида-воспитателя.

Кукушонку для роста требуется много пищи — ведь кукушка довольно крупная птица, и её вес в 4—5 раз превышает вес мелких воробьиных, таких, как, например, трясогузка. Поэтому, чтобы выжить, кукушонок должен выкинуть из родного гнезда своих конкурентов, претендующих на родительскую заботу. Такое поведение жёстко закрепилось стабилизирующим отбором: вылупившись, ещё слепой кукушонок в течение первых 2—3 дней жизни выбрасывает из гнезда яйца или птенцов вида-воспитателя.

Итак, даже из краткого знакомства с биологией кукушки видно, насколько сложен комплекс взаимодополняющих приспособительных черт вида. Все изложенные факты — это характерные примеры разных форм борьбы за существование.

ПРОВЕДИТЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Выявление у организмов приспособлений к среде обитания

Цель работы — выявить особенности строения растений пустынь, которые позволяют им существовать в условиях жаркого климата и недостатка влаги.

Сравните внешнее строение комнатных растений, которые в природе произрастают в пустынях (например, кактусы, молочаи, алоэ), с растениями влажных мест обитания (гибискус, традесканция, папоротник асплениум). Обратите внимание на размер, форму листьев и стеблей, наличие опушения или воскового налёта на поверхности зелёных частей, оттенок их окраски у растений пустынь. Можно ли обнаружить схожие особенности строения у растений засушливых и влажных мест обитания? По результатам исследования заполните таблицу.

Название растения	Органы, в которых запасается влага	Приспособления к уменьшению испарения	Приспособления, предотвращающие перегрев растения

Выполните теоретическую часть работы.

Охарактеризуйте растения, запасающие влагу. Какие органы приспособлены у них для этой цели?

Объясните, какие особенности строения растений пустынь уменьшают потери влаги путём испарения. Какие приспособления имеют растения пустынь для уменьшения перегрева?

Сделайте вывод о приспособлениях растений к обитанию в условиях пустынь.

Отчёт о работе подготовьте в форме презентации и выступите перед одноклассниками.

Вопросы и задания

1. Охарактеризуйте виды приспособлений организмов к среде обитания.
2. Верно ли утверждение о том, что приспособленность организмов относительна? Ответ аргументируйте.
3. Используя информацию, представленную на рис. 102 и 103, сравните маскировку, мимикрию и предупреждающую окраску. Выявите черты сходства и различия.
4. Докажите, что поведение кукушки как гнездового паразита носит приспособительный характер.

§ 48. Понятие вида в биологии

Чем различаются разные виды организмов друг от друга и в чём причина этих различий?

История представлений о виде. В истории естествознания термин «вид» впервые был предложен Аристотелем для обозначения групп сходных особей. В таком смысле учёные-естествоиспытатели использовали этот термин вплоть до XVII в.

После появления работ К. Линнея понятие о виде прочно закрепилось в биологии. К. Линней считал, что виды — универсальные дискретные и объективно существующие в природе образования, многие признаки особей в пределах вида изменяются постепенно. Согласно К. Линнею, вид — это совокупность морфологически сходных организмов, способных скрещиваться между собой и давать плодовитое потомство.

К. Линней заложил основы систематики растений и животных, приняв вид за единицу биологической классификации. Он ввёл в науку названия видов из двух слов, первое из которых обозначало принадлежность вида к определённому роду, а второе — непосредственно название вида. Например, научное название сосны обыкновенной — *Pinus silvestris*. С того времени биноминальные (от лат. *bi* — двойной, *nominalis* — именной) научные названия видов стали обязательными в биологии (рис. 104). Классификация Линнея была основана только на сходстве внешних признаков, поэтому стала, в известной мере, искусственной и не отражала родства видов.

Карл Линней
(1707—1778)

Факты устойчивости и постоянства видов в природе привели к представлению о неизменности и сотворении видов. В начале XIX в. опровергнуть эти представления пытался Ж. Б. Ламарк. Он считал, что видам присуща способность к изменению. Одна-

Рис. 104. Основные принципы современной классификации животных

ко, сводя любую изменчивость к видообразованию, в итоге он стал отрицать реальность видов, считая, что их придумали для удобства классификации.

О сложности понятия «вид» говорит и тот факт, что Ч. Дарвин, работая над проблемой происхождения видов, так и не сформулировал этого понятия. С одной стороны, он считал термин «вид» совершенно произвольным и придуманным для удобства классификации, а с другой стороны, полагал очевидным, что виды хорошо разграничены.

Современные представления о виде сложились лишь в 1930—1960-х годах благодаря работам таких выдающихся учёных, как Н. И. Вавилов, Ф. И. Добжанский, Н. В. Тимофеев-Ресовский, Э. Майр и другие. Ведущую роль в этом сыграли достижения генетики. Экспериментальные исследования показали, что вид обладает сложной генетической структурой и защищён от проникновения генов других видов. Особи одного вида имеют общий генофонд, сложившийся в ходе предшествующей эволюции.

Современная система взглядов на понятие «вид» сформировалась на базе эволюционного учения Ч. Дарвина, генетики и обобщения данных по структуре популяций, главным образом птиц, млекопитающих и насекомых. Её основные положения наиболее полно изложены в книге Э. Майра «Зоологический вид и эволюция» (1968) и сводятся к следующему.

1. Виды состоят из популяций, а не из независимых особей, следовательно, любой вид имеет популяционную структуру.
2. Виды характеризуются генетической обособленностью, а не степенью различий между двумя группами особей.
3. Главным критерием (отличительным признаком) самостоятельности вида служит ***репродуктивная изоляция***, а не плодовитость при скрещивании. Именно репродуктивная изоляция предотвращает обмен генами.

В современной биологии вид рассматривается как закрытая генетическая система, которая в природе не обменивается генами с другими видами. Поэтому решающее значение для установления видовой самостоятельности имеет наличие репродуктивной изоляции в природных условиях.

В отличие от вида популяция представляет собой открытую генетическую систему, которая хотя бы в какой-то мере обменивается генами с другими популяциями того же вида.

Таким образом, современная система взглядов на вид позволяет выявить общие черты, которые присущи всем, казалось бы, абсолютно несхожим видам.

Критерии вида. Генетическая обособленность видов предполагает, что виды должны различаться целым комплексом признаков. Для того чтобы отличить один вид от другого, биологи используют различные группы признаков, т. е. критерии (рис. 105).

Первым из них с исторической и практической точки зрения можно назвать ***морфологический критерий***. Он предполагает явные внешние различия между видами. На основе этого критерия построены все определители животных и растений. Однако он порой может ввести исследователя в заблуждение. Дело в том, что в природе существует немало так называемых видов-двойников, или видов с малой степенью морфологических отличий.

В настоящее время известны шесть видов малярийных комаров, которые внешне практически неразличимы: межвидовые различия можно обнаружить лишь в строении личинок и яиц.

Более половины североамериканских жуков-светляков отличаются только характером световых вспышек. Специфические для каждого вида частота и продолжительность светового сигнала, которым самка привлекает самца, являются примером ***этологического критерия*** в выделении вида.

Встречаются виды-двойники и у птиц. Для того чтобы выяснить различия между клестом-еловиком и клестом-сосновиком, необходимо изучить

Рис. 105. Некоторые критерии, совокупность которых позволяет установить видовую принадлежность

экологию столь внешне похожих видов. Вместе с тем из-за перекрывания экологических потребностей ***экологический критерий*** в большинстве случаев недостаточен для установления видовой принадлежности.

Существует и обратная ситуация, когда вид представлен внешне различными особями. Например, в популяциях зелёного долгоносика существуют жуки зелёного и серого цвета, которые свободно скрещиваются, а их окраска расщепляется в потомстве как признак, обусловленный одним геном. Известны и другие виды животных, состоящие из особей с различным типом окраски: орёл-карлик, некоторые виды поморников, белый гусь представлены светло- и темноокрашенными формами.

Как видим, степень морфологических различий между особями не может служить надёжным критерием их видовой принадлежности. С развитием генетики стало возможным использовать ***генетический критерий***. Известно, что каждый вид имеет свойственный только ему набор хромосом. Обнаружив различия в числе и структуре хромосомного набора двух групп особей, можно утверждать, что перед нами разные виды. В результате анализа хромосомного набора было выяснено, что, например, прежде считавшийся единым вид обыкновенная полёвка на самом деле включает два вида-двойника, которые внешне не различаются. Один из этих видов — обыкновенная полёвка — обладает 46 хромосомами, а другой — восточноевропейская полёвка — 54 хромосомами.

Многие родственные виды птиц обладают одинаковым числом хромосом, однако в природе не скрещиваются. Иными словами, выяснения хромосомного набора оказывается в ряде случаев недостаточно для установления видовой самостоятельности. Из приведённых примеров становится очевидным, что только *совокупность критериев* позволяет точно установить видовую принадлежность. Особо отметим, что главным критерием самостоятельности вида служит репродуктивная изоляция, которая предотвращает обмен генами с другими видами.

На основании сказанного ***вид*** можно определить как совокупность популяций, обладающих общими морфофизиологическими признаками, способных в природе скрещиваться между собой и репродуктивно изолированных от популяций других видов.

Вопросы и задания

1. Охарактеризуйте основные этапы развития представлений о виде. Что включают в определение понятия «вид», согласно современным научным взглядам?
2. Объясните значение термина «репродуктивная изоляция».
3. Сравните понятия «вид» и «популяция», выявите основное отличие.
4. Используя текст параграфа и рис. 105, структурируйте информацию о критериях вида в таблицу. Каждый из критериев проиллюстрируйте соответствующими примерами.

§ 49. Пути возникновения новых видов — видообразование

Какие процессы ведут к генетической обособленности популяций и возникновению новых видов?

Изменение генофонда популяций под действием естественного отбора может вести к возникновению новых видов — важнейшему этапу эволюционного процесса. Об этом событии можно говорить с того момента, как возникает *генетическая изолированность* родственных популяций из-за прекращения скрещивания между ними, а сами популяции становятся генетически, экологически и репродуктивно изолированными системами. Возникновение новых видов — основа многообразия форм жизни на планете.

Палеонтологические исследования убедительно свидетельствуют о том, что в норме процесс видообразования преобладает над процессом вымирания видов. В истории Земли до наступления современного этапа её развития это соотношение нарушалось 5 раз — в периоды крупнейших вымираний. Однако вслед за каждым вымиранием всегда следовал период нарастания многообразия организмов.

Несмотря на массовые вымирания, общий вектор развития жизни на Земле — увеличение её многообразия. Нынешние темпы вымирания видов расцениваются некоторыми учёными как начало нового, шестого периода массового вымирания на Земле. Однако причина этого вымирания — не ход природных процессов, а деятельность человека.

Изоляция — фактор видообразования. Изоляция — важнейший эволюционный фактор, который ускоряет накопление различий между генофондами популяций, что в итоге может привести к прекращению скрещивания между ними (см. § 46). Различают географическую и экологическую формы изоляции.

Географическая изоляция связана с преградами, которые препятствуют обмену особями между соседними популяциями и делят единый ареал вида на части. Популяции оказываются пространственно разобщёнными, а следовательно, свободное скрещивание между ними затруднено или невозможно. Так, для популяций наземных животных важным фактором их географической изоляции служат водные преграды — крупные реки или морские проливы. Популяции водных обитателей оказываются изолированными, наоборот, из-за барьеров суши. Горные популяции разобщены ущельями и долинами рек, а равнинные — горными хребтами.

Эволюционная роль географической изоляции состоит в разделении единого генофонда на части. В изолированной популяции эволюционные процессы идут независимо от эволюционных процессов в других популяциях.

Экологическая изоляция связана с наличием совместно обитающих группировок особей вида, которые различаются по времени, месту и некоторым другим экологическим характеристикам размножения. Например, в озере Севан (Армения) обитают пять форм форели, которые нерестятся в разные сроки и в разных речках и ручьях, впадающих в озеро (рис. 106). Генетическая изоляция этих форм не абсолютна, однако они хорошо различаются по размерам тела и стабильно сосуществуют. Таким образом, эволюционная роль экологической изоляции состоит в ограничении обмена генами между внутрипопуляционными группировками особей.

Способы видообразования. В зависимости от форм изоляции, которые приводят к генетической изолированности популяций и соответственно возникновению новых видов, различают географический и экологический способы видообразования.

Схематично ***географическое видообразование*** выглядит следующим образом.

При заселении удалённых от основного ареала участков с благоприятными условиями среды возникают изолированные популяции. В результате длительной географической изоляции различия между родственными популяциями достигают такого уровня, что даже при исчезновении географической изоляции (из-за расселения или исчезновения физического

Рис. 106. Пять форм форели в озере Севан различаются местами и сроками нереста

Рис. 107. Кольцо ареалов больших белоголовых чаек

барьера) скрещивание между ними становится невозможным, т. е. возникает репродуктивная изоляция.

О реальности географического видообразования свидетельствуют многочисленные факты. Так, на острове Новая Гвинея обитают пять видов райских сорок (астрапий). В каждом из участков горного тропического леса, отделённых друг от друга саванной, обитает «свой» вид этих птиц. Учёные предполагают, что предок нынешних райских сорок населял существовавший прежде единый массив тропического леса, который оказался разделён саванной, так как климат стал более засушливым.

Для любознательных

На побережье Балтийского и Северного морей живут, не скрещиваясь, два вида крупных чаек — клуша (с чёрным цветом спины и крыльев) и серебристая чайка (с серой спиной). Эти два вида связаны друг с другом непрерывным кольцом ареалов нескольких скрещивающихся форм (рис. 107). Предки этих чаек обитали в районе Берингова пролива. Их расселение одновременно в западном и восточном направлениях привело к образованию цепи скрещивающихся популяций. Когда два крайних звена этой цепи «встретились» в районе Балтийского и Северного морей, оказалось, что из-за накопленных в процессе эволюции биологических различий их скрещивание стало невозможным.

В основе ***экологического видообразования*** лежит экологическая изоляция, механизм которой описан выше. Так, 500 видов цихловых рыб образовались в озере Виктория (Африка) примерно за 200 тыс. лет (рис. 108).

Рис. 108. Различные виды цихловых рыб озера Виктория

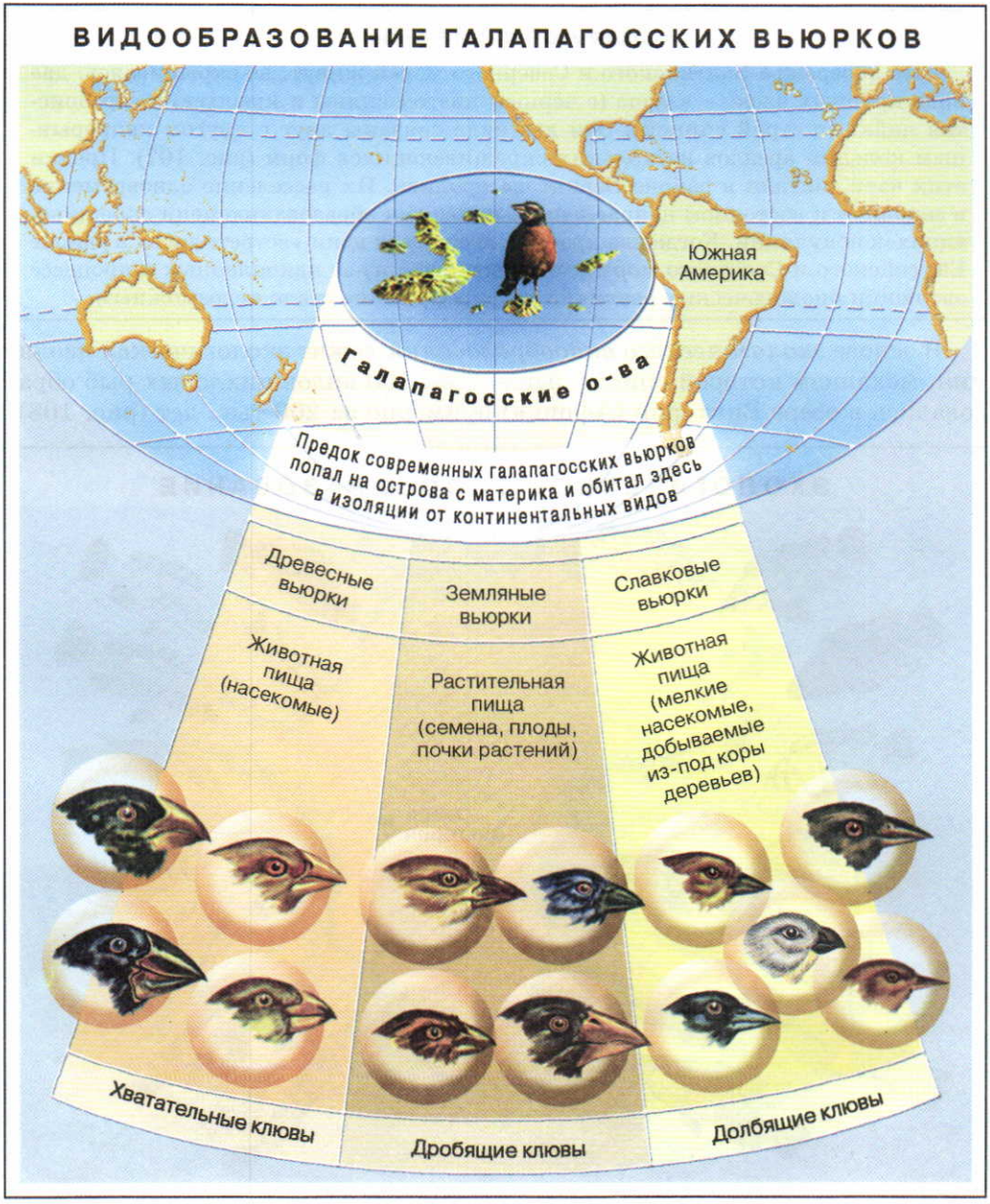


Рис. 109. Многообразие галапагосских вьюрков — результат географического и экологического видообразований

Главный фактор, который способствовал экологической изоляции предковых популяций, — многообразие прибрежных местообитаний.

Географическое и экологическое видообразования порой сопутствуют друг другу. Так, на Галапагосских островах обитают 13 видов вьюрков, которые сформировались в течение нескольких миллионов лет. Их происхождение связано, с одной стороны, с заселением архипелага каким-то одним материковым видом, а с другой стороны, с освоением различных способов питания. Одни виды вьюрков используют в пищу плоды, другие — семена, третьи — насекомых. Это отразилось на величине и форме клюва птиц (рис. 109).

Вопросы и задания

1. Используя информацию, представленную на рис. 109, определите, какой вид изоляции в итоге привёл к появлению многообразия видов вьюрков на Галапагосском архипелаге.
2. Сравните две формы изоляции: экологическую и географическую; выявите черты сходства и отличия.
3. Охарактеризуйте факторы, играющие ведущую роль в видообразовании. Приведите примеры географического и экологического видообразований.
4. Из предыдущих параграфов вы узнали, что многие виды животных и растений исчезают или находятся на грани исчезновения. Происходит ли видообразование на современном этапе? Ответ аргументируйте и по возможности подкрепите примерами.

§ 50. Доказательства эволюции

К чему приводят эволюционные процессы в популяциях?

Эволюционное древо. Эволюционный процесс приводит не только к образованию новых видов, но и к формированию родов, отрядов, классов и т. д.

Процесс эволюции можно представить, если вообразить растущее дерево, в котором каждая молодая веточка — это вид. Рост дерева начинается с одного побега — популяции исходного вида. Спустя какое-то время побег даёт отростки — в результате возникают новые виды. Как все молодые побеги, растущие от одной материнской ветви, так и виды, возникшие из одной материнской популяции, имеют общее происхождение. С этого момента можно говорить, что сформировался род — группа дочерних видов. Время идёт, и на дереве появляются новые пучки веток — возникают новые роды, а из групп общих по происхождению родов формируются семейства.

На дереве какие-то ветки отмирают, а какие-то продолжают свой рост. Так и в природе часть видов вымирает, а часть продолжает существовать и порождать новые виды.

Виды, которые мы наблюдаем сегодня, — это лишь концевые ветки гигантского эволюционного древа. Чтобы выяснить взаимоотношения между его ветвями — видами, семействами и прочими систематическими группами, исследователи в своих изысканиях опираются на достижения различных наук — прежде всего сравнительной морфологии и анатомии, эмбриологии и палеонтологии.

Палеонтологические доказательства эволюции. ***Палеонтология*** (от греч. *palaios* — древний + *ontos* — сущее + *logos* — учение) изучает развитие жизни на Земле по ископаемым останкам организмов, главным образом по отпечаткам и окаменелостям растений и животных, а также по фрагментам скелетов, сохранившихся в земной коре.

Сравнивая останки организмов, сохранившихся в геологических слоях разного возраста, можно представить путь их исторического развития. Выдающийся русский учёный В. О. Ковалевский впервые показал, как на основе палеонтологических данных можно воссоздать направление эволюционного процесса.

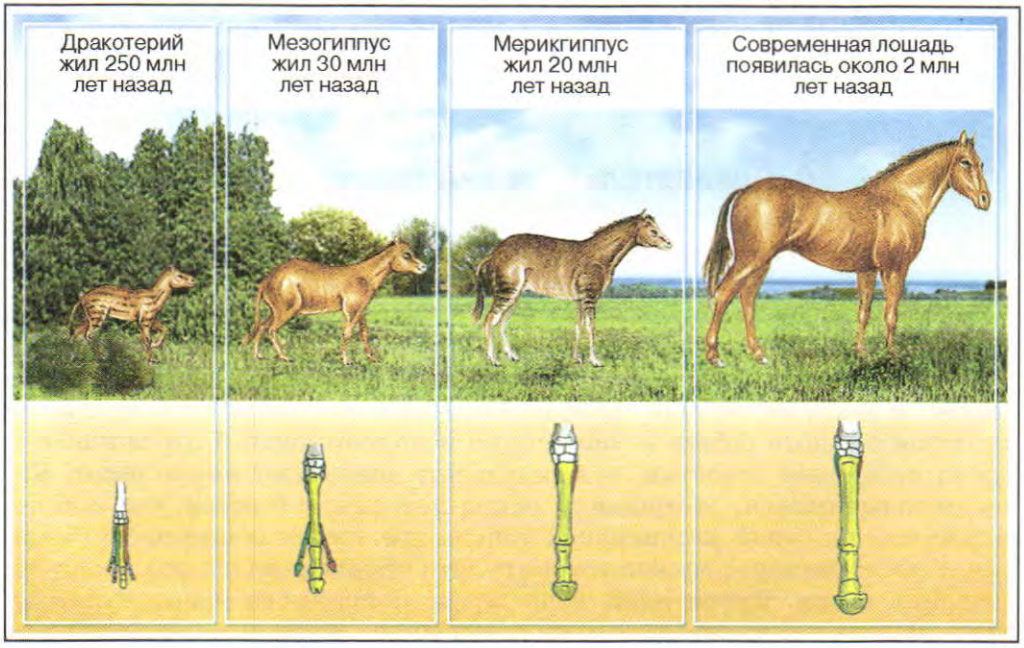


Рис. 110. Эволюция предков современной лошади

В. О. Ковалевский изучал историю развития лошадей и установил, что современные крупные однопалые животные происходят от мелких пятипалых предков, живших в лесах. Сокращение площади лесов и расширение степей из-за изменения климата Земли привели к тому, что предки лошадей стали осваивать новые открытые пространства. Крупные размеры тела и способность к быстрому бегу — это те признаки, которые в новых условиях обеспечивали лучшую защиту от хищников и были подхвачены естественным отбором. Формирование копыта и сокращение числа пальцев способствовали быстрому бегу, так как это уменьшало площадь опорной поверхности ноги, а следовательно, и силу трения (рис. 110). По аналогичной причине у гоночных велосипедов узкие шины.

Сравнительно-морфологические и анатомические доказательства эволюции. Сравнительная морфология и анатомия изучают сходство и различия внешнего и внутреннего строения организмов разных систематических групп. Выяснилось, что разные по форме и функциям органы некоторых животных и растений могут иметь общий план строения и развиваются из сходных эмбриональных зачатков. Таковы, например, передние конечности разных позвоночных животных или внешне различные крылья насекомых, например, саранчи, жуков, бабочек, муравьёв (рис. 111). Чем больше сходных черт в строении органов у сравниваемых организмов, тем ближе они на эволюционном древе.

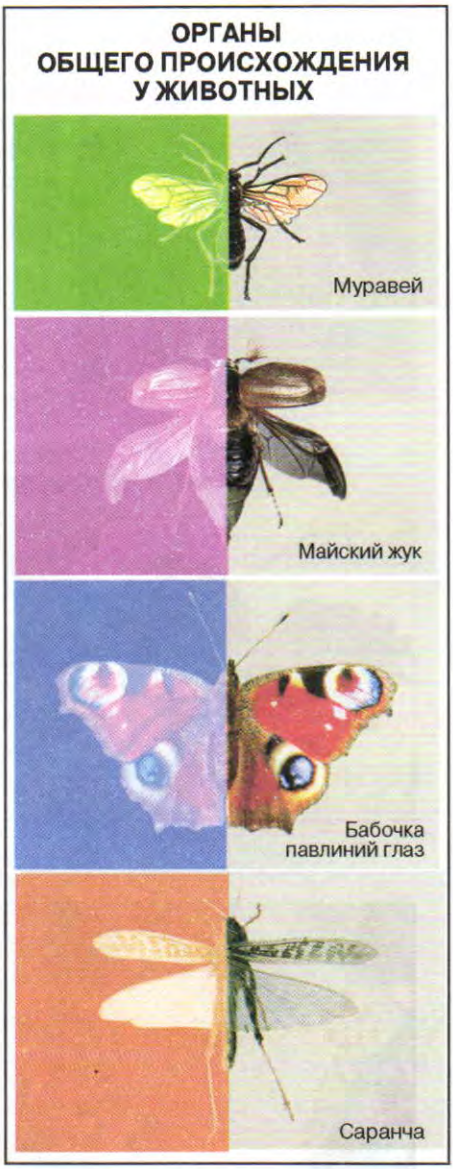


Рис. 111. Примеры органов, имеющих разную форму, но общий план строения

Рис. 112. Примеры органов, выполняющих сходные функции, но имеющих разное происхождение

Некоторые внешне похожие органы (крылья насекомых и летучих мышей, жабры рака и рыбы, роющие конечности крота и медведки) выполняют сходные функции, но имеют разное строение и происхождение (рис. 112). Такие органы — результат приспособления к сходным условиям обитания, они формируются у видов, не связанных близким родством.

Эмбриологические доказательства эволюции. Строение и развитие зародышей организмов изучает наука эмбриология (от греч. *embryon* — зародыш). Ещё до выхода книги Дарвина о происхождении видов русский

Рис. 113. Сходство эмбрионов позвоночных животных на разных стадиях развития

эмбриолог К. Бэр установил, что эмбрионы разных групп позвоночных животных больше похожи друг на друга, чем взрослые особи. Удивительное сходство зародышей отражается в форме тела, наличии хвоста, зачатков конечностей, жаберных карманов по бокам глотки (рис. 113).

По мере развития сходство между зародышами уменьшается и начинают проявляться черты тех классов, к которым они принадлежат. В этой закономерности Дарвин видел важное доказательство эволюции: сходство зародышей отражает преемственность между родственными группами организмов.

Вопросы и задания

1. Объясните причину возникновения у неродственных групп животных органов, выполняющих сходные функции.
2. Ласты тюленя, роющие конечности крота, крылья летучей мыши по строению схожи: имеются плечо, предплечье, кисть. Однако внешне они сильно отличаются. Объясните причину таких различий.
3. Охарактеризуйте вклад эмбриологии и палеонтологии в понимание картины эволюционного процесса.

КОЛЛЕКТИВНАЯ ТВОРЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Изучение доказательств эволюции

Работа выполняется в группах с последующим коллективным обсуждением полученных результатов.

Цель работы: убедиться, что на основании данных палеонтологии, сравнительной морфологии, анатомии и эмбриологии можно представить ход эволюционных преобразований организмов.

Каждая группа учащихся, используя раздаточный материал, предложенный учителем, готовит сообщение о сравнительно-морфологических, сравнительно-анатомических, эмбриологических или палеонтологических доказательствах эволюции.

Вопросы для коллективного обсуждения

1. О чём свидетельствует общий план строения органов разных организмов?
2. К каким выводам можно прийти в результате сравнения эмбрионов позвоночных животных разных классов? На каких этапах развития зародыши наиболее сходны?
3. Как палеонтологические находки помогли восстановить этапы эволюции лошадей?

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

По оценкам учёных, на Земле в настоящее время обитает от 2 до 30 млн видов различных организмов. Однако это лишь малая часть тех, кто населял Землю в течение её долгой истории. Согласно расчетам американского палеонтолога Д. Симпсона, за историю Земли на планете существовало порядка 500 млн видов. Большинство из них исчезли навсегда.
Эволюция жизни на Земле сопровождалась периодами расцвета и вымирания различных групп организмов. На смену вымершим видам неизменно приходят новые формы жизни. Прогрессивное усложнение организации — магистральный путь эволюции, приводящий к видовому многообразию.

§ 51. Биогенез и абиогенез

? Каковы современные взгляды на происхождение жизни?

С глубокой древности до наших дней высказано множество гипотез о происхождении жизни на Земле. Однако всё их многообразие сводится к двум полярным подходам — биогенезу и абиогенезу. Сторонники ***биогенеза*** (греч. *bios* — жизнь, *genesis* — происхождение) предполагали, что всё живое происходит только от живого. Противники защищали идеи абиогенеза (*а* — приставка отрицания). Они считали возможным происхождение живого от неживого.

Живое из неживого — теория абиогенеза. С точки зрения ***абиогенеза*** биологическая эволюция — это результат химической эволюции. Гипотезы, основанные на идее абиогенеза, в той или иной мере допускают самозарождение жизни. Наибольшее распространение такая идея получила в Средние века. Учёные того времени допускали, что рыбы могут зарождаться из ила, мухи — из мяса, черви — из почвы. Позднее взгляды о самозарождении жизни отстаивал Ж. Б. Ламарк.

Александр Иванович Опарин
(1894—1980)

Наиболее известна гипотеза абиогенеза, предложенная отечественным учёным А. И. Опариным. В начале XX в. он высказал предположение,

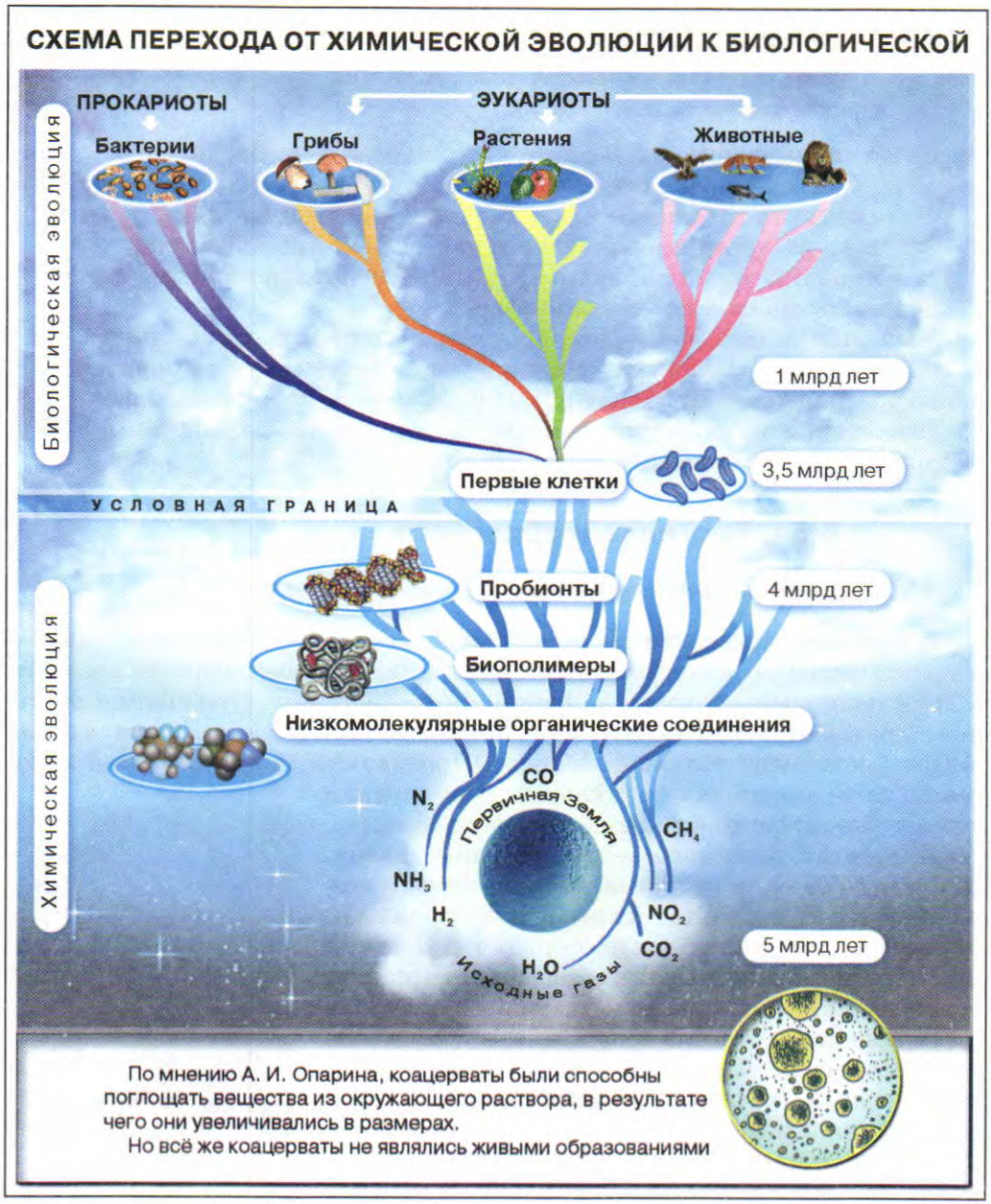


Рис. 114. Согласно гипотезе А. И. Опарина, жизнь возникла как результат длительной эволюции углеродных соединений

что жизнь возникла как результат длительной эволюции углеродных соединений. В результате мощных электрических разрядов в атмосфере Земли, которая 4,5 млрд лет назад не содержала кислорода и состояла из аммиака, метана, углекислого газа и паров воды, могли возникнуть сначала простые, затем всё более сложные органические соединения. Этапы абиогенеза представлялись следующим образом: мономеры → биологические полимеры → пробионты (предбиологические системы) → одноклеточные организмы (рис. 114).

Предположение А. И. Опарина широко распространилось и было подтверждено экспериментально. Особую известность получили опыты Г. Юри и С. Миллера (1955), проведённые в Чикагском университете. Учёные сконструировали прибор, моделирующий условия древней Земли (рис. 115). Стеклянный шар содержал «древнюю атмосферу», не имевшую кислорода. Искровые разряды между электродами имитировали молнии (источник энергии). Вода представляла собой «океан», её нагревали до 80 °С и пропускали под давлением, в «атмосферу» поступал водяной пар, который конденсировался и имитировал дождь. В результате эксперимента учёные получили различные органические соединения, среди них были и аминокислоты — «кирпичики жизни».

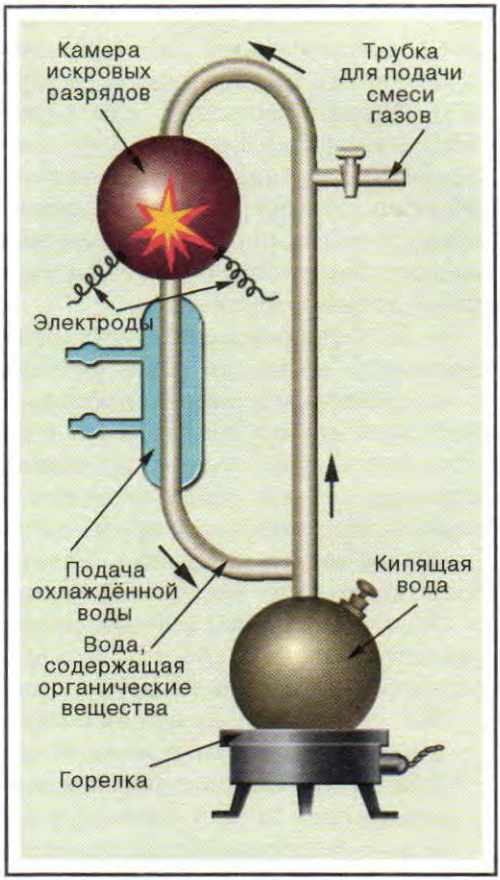


Рис. 115. Схема экспериментальной установки Г. Юри и С. Миллера для моделирования первичной атмосферы Земли

В дальнейшем экспериментально был доказан следующий этап абиогенеза — возможность получения биополимеров (белков, нуклеиновых кислот) из составляющих их мономеров.

Учёные пытались экспериментальным путём доказать и следующий этап биохимической эволюции — получение пробионтов. Пробионты — это

ещё не живые системы, способные имитировать свойства живых систем: расти, воспроизводиться, осуществлять обмен веществ с внешней средой.

Моделью пробионтов у Опарина служили коацерватные капли. А. И. Опарин наблюдал, как в растворах полипептидов, полисахаридов, РНК и в других высокомолекулярных соединениях при определённых условиях образовывались сгустки, которые он назвал ***коацерватными каплями***. Вокруг капель возникает граница раздела, хорошо видимая в микроскоп (см. рис. 114). Коацерваты из окружающей среды могли адсорбировать некоторые вещества и увеличиваться в размерах. В них мог идти синтез новых соединений.

А. И. Опарин предположил, что, вероятно, в ходе длительной эволюции пробионтов возникли такие системы, в которых обмен веществ сочетался со способностью к самовоспроизведению. Такие пробионты имели наилучшую перспективу сохраниться в предбиологическом отборе. Дальнейшее их развитие уже полностью приобрело черты биологической эволюции: возникли сначала одноклеточные безъядерные организмы (прокариоты), затем — ядерные (эукариоты) одноклеточные и многоклеточные.

Живое только из живого — теория биогенеза. В основе теории биогенеза лежит признание вечности и космичности жизни.

Одним из первых учёных, который обратил внимание на роль жизни в развитии планеты, был В. И. Вернадский. Его взгляды на возникновение жизни основывались на нескольких теоретических положениях.

- Жизнь — такой же важный компонент Космоса, как материя и энергия. Живое происходит только от живого.
- Зародыши жизни приносились из Космоса на Землю постоянно, но укрепились на ней лишь при благоприятных для этого условиях.
- Живое вещество всегда существовало в виде биосферы, т. е. было представлено разнообразием видов, выполняющих различные функции: автотрофами и гетеротрофами, аэробами и анаэробами.
- Живое вещество благодаря способности поглощать энергию солнечных лучей и участию в круговороте веществ вовлекает в процессы клеточного метаболизма химические элементы из неживой природы и тем самым вызывает преобразование, «эволюцию» косного вещества планеты.
- Поскольку все функции в биосфере способны выполнять прокариоты, то, возможно, древнейшая биосфера состояла только из прокариот, осуществлявших круговорот веществ.
- Попав на Землю, жизнь прокариот быстро распространилась и заняла все уголки нашей планеты. (Известно, что скорость размножения бактерий огромна, и они могли бы завоевать всю поверхность планеты за несколько суток.)

Идеи и положения В. И. Вернадского о происхождении жизни на Земле получили дальнейшее развитие. Сегодня известно, что Земля и Космос — единая система. Энергия живого вещества есть преобразованная, аккумулированная энергия солнечного излучения, под действием которого живое вещество также влияет на состав земной коры, как и в прошлые эпохи. Живые организмы обеспечивают глобальный круговорот веществ.

Положения В. И. Вернадского, в общем, не противоречат идее перерастания химической эволюции в биологическую. Ведь если даже «зародыши жизни» попали на Землю из Космоса, то где-то они должны были возникнуть. А механизм этого возникновения живого из неживого пытался смоделировать в своих экспериментах А. И. Опарин.

Вопросы и задания

1. Используя информацию, представленную на рис. 114, и текст параграфа, заполните таблицу.

Происхождение и развитие жизни на Земле согласно теории абиогенеза

Эпохи	Время (млрд лет назад)	Основные этапы
Химическая эволюция		
Биологическая эволюция		

2. Охарактеризуйте основные положения биогенеза.

§ 52. Развитие жизни на Земле

Вспомните, какое значение для развития жизни имело возникновение фотосинтеза.

Изучение истории Земли. Огромную роль в воссоздании картины развития жизни на Земле играет палеонтология. Учёные-палеонтологи изучают историю органического мира в далёкие геологические эпохи по ископаемым останкам организмов, обнаруженным в земных пластах разного возраста. Геологические пласты образно называют «страницами геологической летописи Земли».

Современные научные методы позволяют установить возраст слоёв горных пород и, соответственно, возраст ископаемых останков по содержанию «долгоживущих» радиоактивных изотопов и продуктов их распада в земной коре. Зная скорость разрушения радиоактивного изотопа, можно определить возраст земных слоёв.

Историю Земли делят на длительные промежутки времени — эры. ***Геологические эры*** указаны в *геохронологической* (от греч. *gē* — земля, *chronos* — время) таблице в соответствии с расположением земных пластов: древнейшие расположены внизу, позднейшие — выше, самые современные — наверху. Поэтому изучение таблицы нужно начинать снизу, последовательно переходя к более поздним эрам. Названия эр греческого происхождения: архей — древнейший, протерозой — первичная жизнь, палеозой — древняя жизнь, мезозой — средняя жизнь, кайнозой — новая жизнь.

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА

	Эра	Время от начала эры до наших дней (в млн лет)	
5	КАЙНОЗОЙ	67	
4	МЕЗОЗОЙ	240	
3	ПАЛЕОЗОЙ	570	
2	ПРОТЕРОЗОЙ	2500	
1	АРХЕЙ	3900	

Ранние этапы развития жизни. Жизнь возникла в начале архея. В ранних архейских породах возрастом 3,5—3,8 млрд лет обнаружены остатки безъядерных (прокариотических) микроорганизмов — бактерий и синезелёных водорослей (цианей). Синезелёные обладали способностью к фотосинтезу, что способствовало накоплению кислорода в атмосфере Земли.

К концу архейской эры возникли ядерные (эукариотические) одноклеточные, а затем колониальные организмы. Возникновение эукариотической клетки — величайшее событие в истории развития жизни на Земле.

Исключительного расцвета в протерозое достигли бактерии и одноклеточные водоросли, благодаря деятельности которых шло формирование осадочных пород (руд металлов, серы, горючих сланцев), нефти и газа, постепенно повышалось содержание кислорода в атмосфере.

Процесс фотосинтеза повлёк за собой формирование озонового экрана, который задерживает большую часть

губительных для всего живого ультрафиолетовых лучей. Формирование озонового экрана содействовало дальнейшему развитию жизни.

К концу протерозоя появились многоклеточные организмы: красные и бурые водоросли, грибы, плоские и кольчатые черви, медузы, иглокожие. Возникновение многоклеточных организмов — следующее из важнейших эволюционных событий ранних этапов развития жизни.

Основные этапы эволюции растений. В первой половине палеозойской эры растения (одноклеточные и многоклеточные водоросли) населяли моря, которые занимали большую часть поверхности Земли.

В середине палеозоя тектонические процессы привели к увеличению площади суши, и появились первые наземные организмы. Первые наземные растения — *псилофиты* — обладали древовидной формой (рис. 116). По сравнению с водорослями псилофиты имели ряд приспособлений к жизни на суше: ризоиды для закрепления в почве, покровную ткань, защищающую от высыхания, механическую ткань, придававшую необходимую твёрдость стеблю, примитивную проводящую систему.

Позже от псилофитов произошли древние папоротники, хвощи и плауны. Возникновение листьев и корневой системы — важные приспособления растений к жизни на суше. Размножение папоротникообразных тесно связано с водой, и в условиях тёплого влажного климата они широко распространились по планете. Возникли первые леса из древовидных хвощей, плаунов и папоротников, высота которых достигала 15—45 м (см. рис. 116). На месте этих древних лесов через миллионы лет образовались залежи каменного угля.

От папоротникообразных произошли первые *семенные растения* — семенные папоротники (см. рис. 116). Образование семени — крупнейшее событие в эволюции растительного мира: зародыш, кроме семенной оболочки, защищающей его от неблагоприятных воздействий внешней среды, имел запас питательных веществ.

От семенных папоротников образовались древние *голосеменные* — хвойные, гинкговые. Процесс размножения голосеменных уже не был связан с водой. Это и позволило им широко распространиться на суше в конце палеозоя, когда климат стал более сухим и холодным. Влаголюбивые споровые растения сохранялись лишь во влажных и тёплых местах.

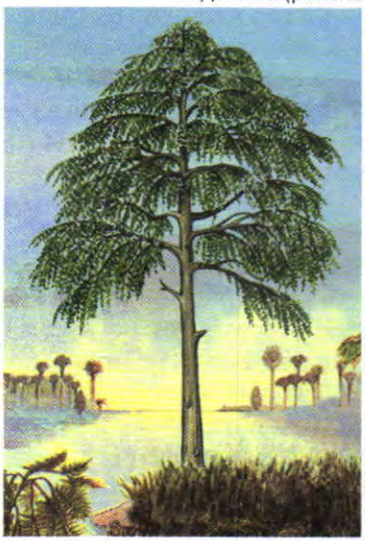
На протяжении мезозоя климат менялся от континентального и засушливого в начале эры к более тёплому и влажному в её середине и опять к более сухому в конце мезозоя.

Голосеменные растения продолжали господствовать на Земле до конца мезозойской эры, когда климат стал более сухим. С тех времён дошли до нас гигантские секвойи, способные жить до 3000 лет. Один из видов секвой — мамонтово дерево — достигает высоты 150 м и имеет диаметр ствола до 12 м (рис. 117).

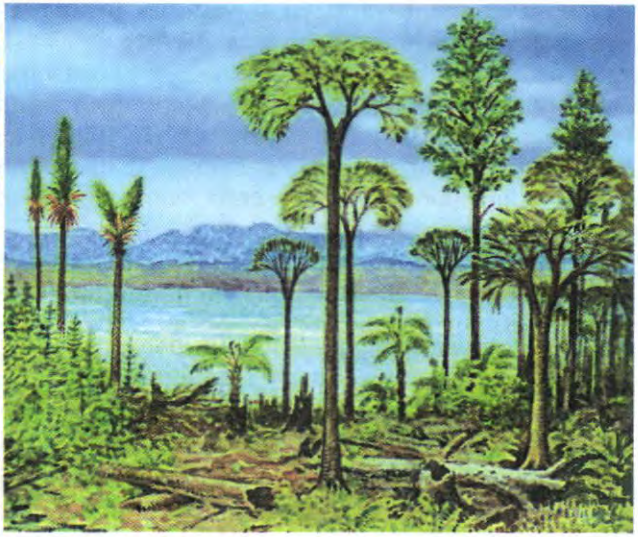
ФЛОРА ПАЛЕОЗОЯ

Первые растения суши псилофиты обитали по берегам водоёмов (реконструкция)

Семенные папоротники



Первое голосеменное растение (реконструкция)



Древовидные растения (реконструкция)

Рис. 116. Эволюция растений в палеозойскую эру

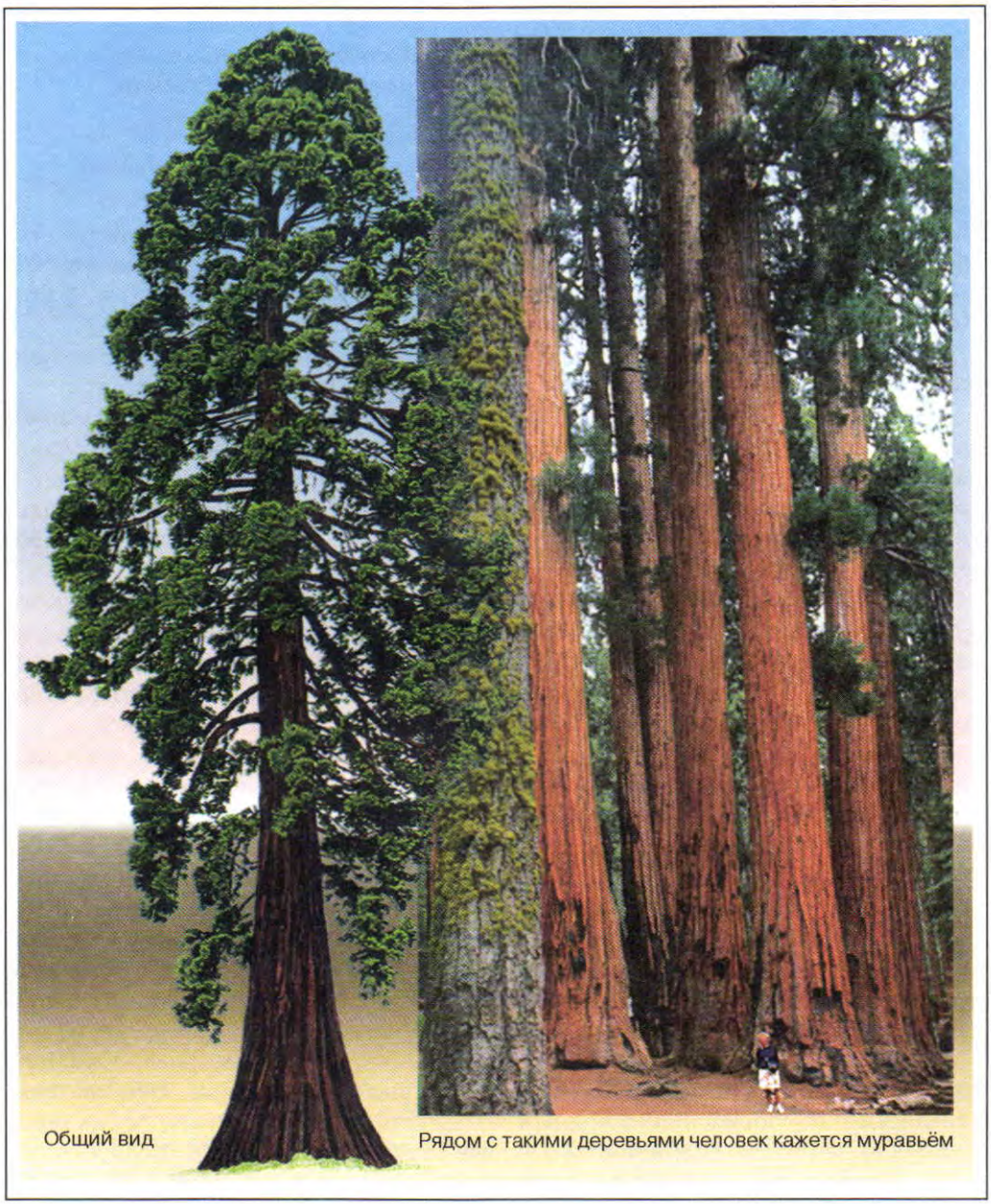


Рис. 117. Мамонтово дерево

В конце мезозоя сокращается разнообразие голосеменных растений. Резкое наступление засушливого климата способствовало появлению и распространению первых *покрытосеменных (цветковых) растений*.

? В чём различия между голосеменными и цветковыми растениями?

Возникновение цветков — важное эволюционное преобразование растений. С этого момента широко распространяются мутуалистические отношения между растениями и их опылителями — насекомыми (см. § 36). Цветковые растения широко распространились по планете.

В начале кайнозоя преобладал жаркий и влажный климат, в дальнейшем сменившийся похолоданием и оледенением огромных площадей.

Уже в начале кайнозойской эры цветковые растения достигли своего расцвета. Из первых покрытосеменных дошли до наших дней такие деревья, как магнолии, платаны, фикусы, пальмы, эвкалипты. Позже появились и другие виды деревьев. Широкому распространению и завоеванию самых недоступных участков суши способствовала приспособленность покрытосеменных к сезонным изменениям климата.

В начале кайнозоя были широко распространены леса тропического и субтропического типа. Позже, когда климат стал более континентальным, началось остепнение суши. Леса, произраставшие в умеренных широтах, сменились открытыми ландшафтами. Злаки, формирующие плотную дерновину, становятся главными растениями степей, саванн и прерий.

Основные этапы эволюции животных. Эволюция животных происходила чрезвычайно бурно. Ещё в протерозое моря стали колыбелью многих беспозвоночных животных, из которых к началу палеозоя особенно широко распространились *древнейшие членистоногие — трилобиты* (рис. 118).

В середине палеозоя практически одновременно с псилофитами на сушу вышли первые «десанты» животного мира — пауки и скорпионы.

В морях в то время процветали первые *позвоночные животные — панцирные рыбы*, которые не имели челюстей, обладали мощным костным панцирем и, внешне напоминая современных рыб, относились к двум самостоятельным вымершим ныне классам животных.

Вслед за панцирными возникают и процветают новые разнообразные группы рыб, в том числе хрящевые (акулы, скаты) и костные. Важные эволюционные преобразования водных позвоночных — появление челюстей и парных конечностей (плавников). Первые челюстноротые рыбы были хищниками. Костные рыбы характеризуются огромным разнообразием. Кроме лучепёрых (сейчас это главные представители позвоночных животных в водной

Рис. 118. Эволюция животных в палеозойскую эру

среде) появились двоякодышащие и кистепёрые рыбы (см. рис. 118), у которых кроме жаберного дыхания сформировалось и лёгочное.

Кистепёрые рыбы дали начало первым *земноводным* — стегоцефалам (см. рис. 118), которые были намного крупнее современных земноводных.

Во второй половине палеозоя отмечены первые *летающие насекомые*. Некоторые из них, например гигантские стрекозы, имели размах крыльев 0,75 м.

Тогда же возникает новый класс позвоночных — *пресмыкающиеся*. Благодаря ряду особенностей, в частности внутреннему оплодотворению и откладыванию яиц с большим желтком и плотной оболочкой, рептилии в конце палеозоя, когда климат стал более сухим, стали полными хозяевами суши.

В мезозойскую эру процветают насекомые и пресмыкающиеся.

Среди наземных позвоночных абсолютно преобладают динозавры и другие группы пресмыкающихся: ихтиозавры, освоившие водную среду, птерозавры — воздушную. Возникают также черепахи и крокодилы. Многообразие рептилий достигает максимума. Некоторые из них были настоящими гигантами, другие имели весьма скромные размеры тела (рис. 119).

Появление теплокровных рептилий — цинодонтов — стало событием в эволюции позвоночных животных. Именно они явились предками первых *млекопитающих*. Мезозойские млекопитающие представляли собой мелких зверьков, питавшихся насекомыми. В середине мезозоя возникают также примитивные птицы.

В конце мезозоя происходит грандиозное вымирание древних рептилий — динозавров, птерозавров, ихтиозавров. Одновременно начинаются бурные эволюционные процессы среди млекопитающих.

В кайнозое большого видового разнообразия достигают насекомые, птицы и млекопитающие. Бурная эволюция в этих классах животных связана с освоением ими различных сред жизни: наземно-воздушной, водной, подземной (почвы). Повсеместно на суше распространяются теплокровные животные — птицы и млекопитающие (сперва яйцекладущие и сумчатые, а затем и плацентарные).

Каковы характерные особенности яйцекладущих, сумчатых и плацентарных млекопитающих?

Плацентарные млекопитающие организованы прогрессивнее, чем яйцекладущие и сумчатые. Вынашивание детёнышей в теле матери, питание эмбрионов через плаценту, живорождение позволяли им лучше приспособиться к изменчивым условиям среды.

В начале кайнозоя возникли все современные отряды млекопитающих, широко распространились гоминоиды — предки человекообразных обезьян

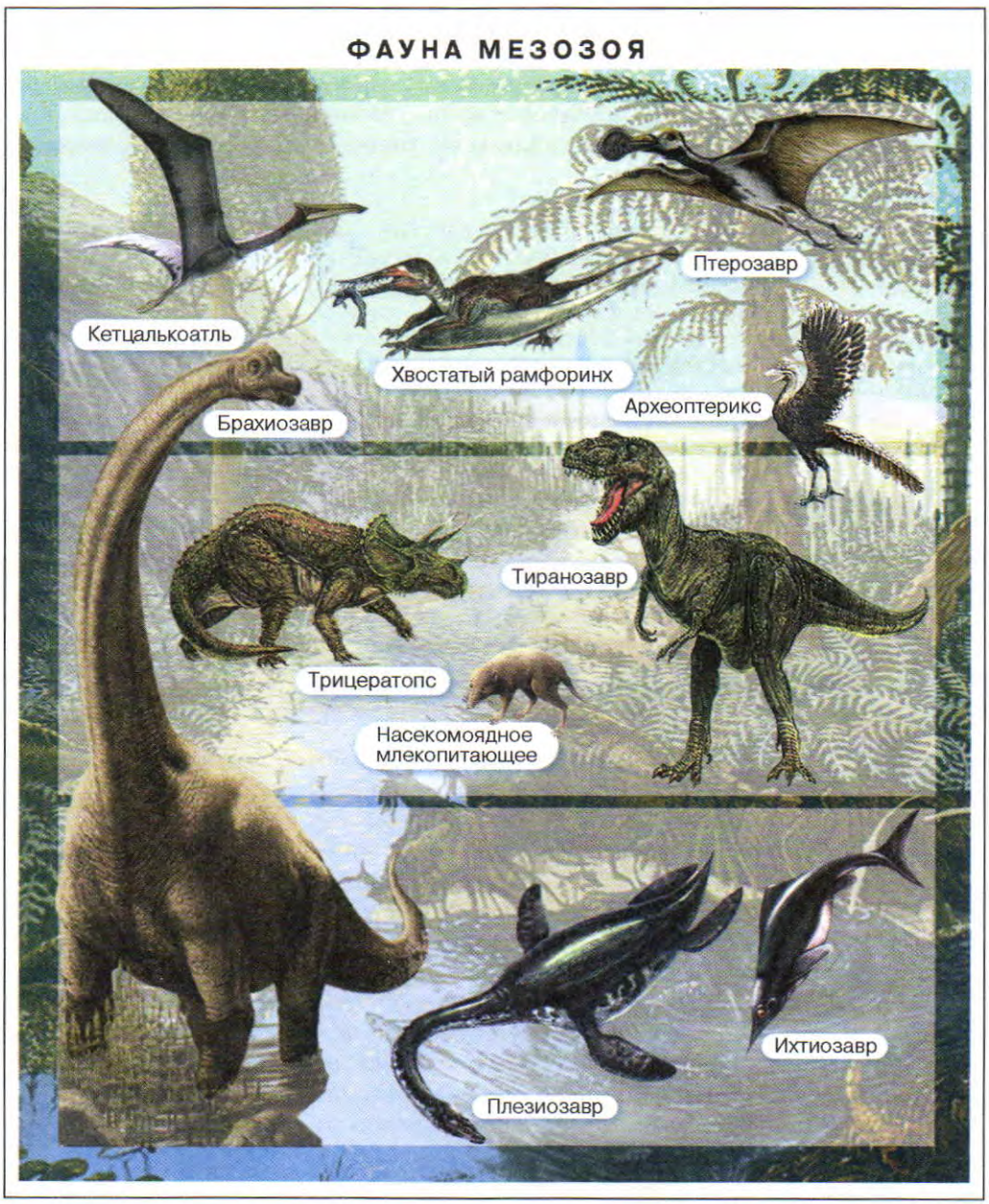


Рис. 119. Эволюция животных в мезозойскую эру

и людей. У них развиваются прямохождение и общественный образ жизни. В конце кайнозоя появляются первые *люди*, которые, будучи исходно лесными обитателями, осваивают открытые ландшафты. По-видимому, древние охотники сыграли немалую роль в вымирании крупных млекопитающих, таких, как мамонты, шерстистые носороги, саблезубые тигры, пещерные лев и медведь.

Вопросы и задания

1. Объясните, почему именно палеонтология даёт важнейшие доказательства процесса эволюции на Земле. Как правильно читать геохронологическую таблицу?
2. Докажите, что эволюция жизни на ранних этапах (архее, протерозое) создала предпосылки для кардинального изменения облика планеты.
3. В силу каких особенностей строения и жизнедеятельности семенные растения получили преимущества в борьбе за существование перед споровыми? Ответ аргументируйте.
4. Охарактеризуйте приспособления цветковых растений к сезонным изменениям климата.
5. Почему появление челюстей и парных конечностей имело большое значение в эволюции позвоночных животных? Выскажите свою точку зрения.
6. Объясните, какие особенности млекопитающих позволяют им лучше, чем пресмыкающимся, приспосабливаться к меняющимся условиям среды.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКА

В науке, пожалуй, нет никакой другой проблемы, которая бы обсуждалась столь активно и эмоционально, как проблема происхождения человека.

Некоторые считают, что человек не имеет ничего общего с иными формами жизни на Земле, и верят в акт божественного творения человека. Другие аргументированно доказывают общность исторических корней человека и приматов.

Многие выдающиеся учёные, начиная с Аристотеля, — И. Кант, Ж. Б. Ламарк, К. Линней, Э. Геккель и другие — писали о близком родстве человека с высокоразвитой обезьяной. Однако главную роль в доказательстве животного происхождения человека сыграла книга Ч. Дарвина «Происхождение человека и половой отбор» (1871), в которой эта идея была обоснована на многочисленных и систематизированных фактах.

С каждым годом палеонтология предоставляет всё больше научных доказательств эволюции человеческого рода, длящейся миллионы лет.

§ 53. Человек и приматы: сходство и различия

Какие данные используют учёные для доказательства эволюции?

Развитие представлений о происхождении человека. О том, как человек появился на Земле, сложено много легенд у разных народов (рис. 120).

Сходство человека и приматов было замечено довольно давно. Ещё К. Линней в XVIII в. впервые отвёл человеку место в отряде приматов и дал ему видовое название «человек разумный» (*Homo sapiens*). Показав на основе сходства строения тела систематическое положение человека

Рис. 120. Легенды разных народов повествуют о появлении человека на Земле

как представителя царства животных, К. Линней сделал важный шаг в решении вопроса о происхождении человека. В дальнейшем этот вопрос разрабатывали Ч. Дарвин и его последователи.

В трудах «Происхождение человека и половой отбор», «О выражении эмоций у человека и животных» Дарвин пришёл к выводу, что человек — неотъемлемая часть живой природы и его возникновение подчиняется общим законам развития органического мира. Он доказал происхождение человека «от нижестоящей животной формы». На основании сравнительно-анатомических и эмбриологических данных, указывающих на сходство человека и обезьян, он обосновал идею их родства, а следовательно, и общности их происхождения от древнего исходного предка.

Современные находки ископаемых останков древних приматов в Южной Африке подтверждают справедливость выводов Дарвина. Даже католическая церковь была вынуждена признать естественным происхождение человека как биологического существа. В 1950 г. Папа Римский Пий XII заявил: «Учение церкви не запрещает эволюционному учению быть предметом научных исследований до тех пор, пока они производят исследования о происхождении человеческого тела из уже существующей живой материи, несмотря на то, что католическая вера обязывает нас придерживаться взглядов, что души созданы непосредственно Богом».

В наши дни изучение эволюционной истории человека быстро развивается, а новые научные открытия заставляют существенно дополнять, а порой и пересматривать сложившиеся представления.

Свидетельства происхождения человека от животных. С биологической точки зрения человек разумный относится к роду Человек, семейству людей, подотряду высших приматов (обезьян), отряду приматов, подклассу плацентарных, классу млекопитающих, подтипу позвоночных, типу хордовых. Большое количество данных сравнительной анатомии, физиологии и эмбриологии свидетельствует о животном происхождении человека.

Формирование в процессе эмбрионального развития человека хорды, жаберных щелей, полой нервной трубки, двусторонней симметрии тела определяет принадлежность человека к типу хордовых. Развитие позвоночного столба, двух пар конечностей — к подтипу позвоночных. Теплокровность, образование молочных желёз, наличие волос на поверхности тела свидетельствуют о принадлежности человека к классу млекопитающих. Развитие детёныша внутри тела матери и питание плода через плаценту определяют принадлежность человека к подклассу плацентарных.

Доказательства родства человека и человекообразных обезьян. Множество более частных признаков чётко определяют принадлежность человека к подотряду обезьян в отряде приматов.

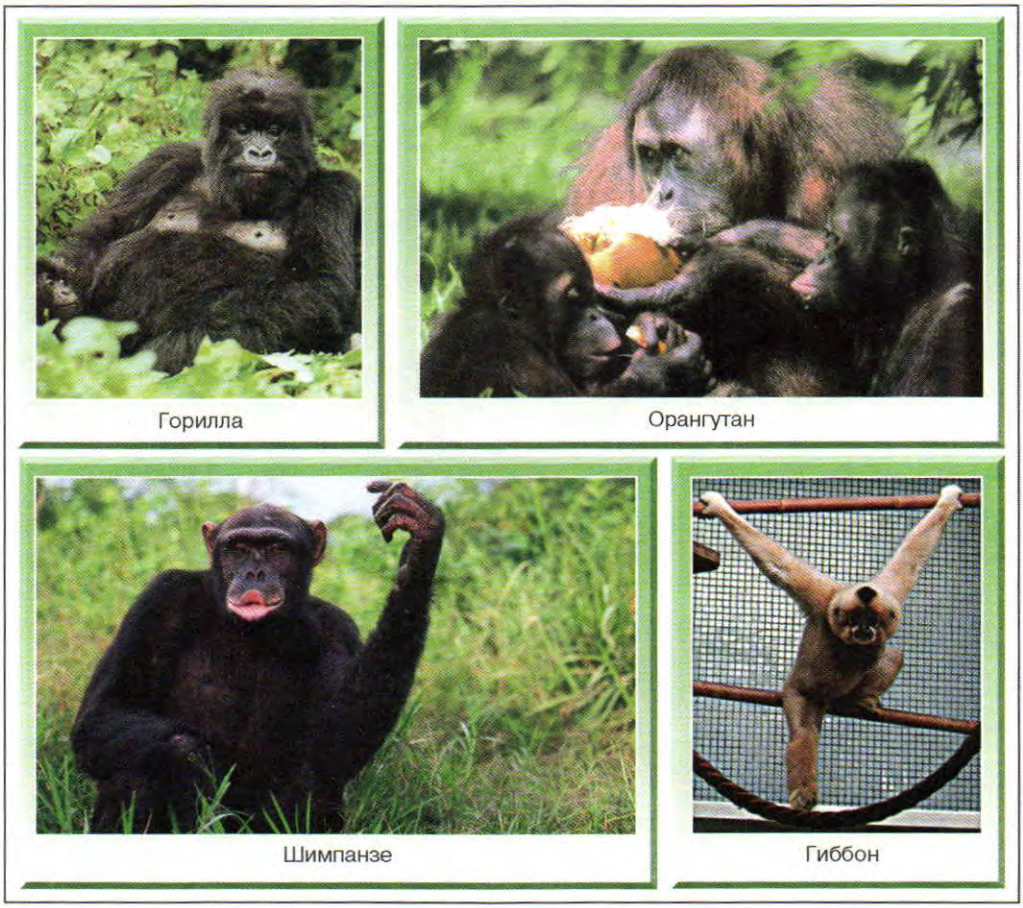


Рис. 121. Человекообразные обезьяны

- Сходство строения и работы многих человеческих органов с органами человекообразных обезьян. Даже внешне человекообразные обезьяны (рис. 121) похожи на людей: крупные размеры тела, длинные по отношению к туловищу конечности, широкие плечи, отсутствие хвоста, выступающий из плоскости лица нос, сходная форма ушной раковины.
- Узор на коже пальцев и ладоней шимпанзе и гориллы похож на человеческий. Шимпанзе и человек схожи по срокам беременности и полового созревания, процессам старения, форме сперматозоидов. Выражение эмоций и мимика обезьян также очень похожи на человеческие (рис. 122, 123).

Рис. 122. Сходство мимики человека и человекообразных обезьян

- Число хромосом, их форма и размеры у человека и человекообразных обезьян сходны. У шимпанзе, гориллы и орангутана диплоидное число хромосом — 48, а у человека — 46.
- У человека и шимпанзе имеется более 90 % общих генов.
- Очень близка первичная структура таких белков, как гемоглобин и миоглобин.
- Идентичны группы крови у человека, шимпанзе, гориллы и орангутана. «Человеческие» группы 0 и А имеются у шимпанзе, А, В и АВ — у орангутана, А и В — у гориллы. Кровь шимпанзе (с учётом группы) можно безопасно переливать человеку.
- Известны общие заболевания и сходное их протекание у шимпанзе и человека.

В целом наибольшее сходство установлено между человеком и шимпанзе.

Различия между человеком и человекообразными обезьянами. Между человеком и человекообразными обезьянами есть существенные различия. Они во многом обусловлены приспособленностью человека к передвижению на двух ногах — прямохождением.

Вспомните, каковы различия в строении тела у человека и человекообразных обезьян.

Позвоночник человека имеет S-образный изгиб, а стопа — свод (в отличие от плоской стопы обезьян), что смягчает удары и сотрясение органов при ходьбе и беге. Пальцы стопы человека малоподвижны и не способны к захвату. Таз человека более массивный и широкий, так как держит большую часть массы тела; грудная клетка уплощена.

Имеются существенные различия в строении кисти. У человека, в отличие от человекообразных обезьян, большой палец руки противопоставлен остальным пальцам, хорошо развит и очень подвижен. Благодаря такому строению кисти рука способна к разнообразным и тонким движениям (рис. 123).

Отличается и строение черепа: у человека слабее развиты надбровные дуги, отсутствуют костные гребни, мозговая часть преобладает над лицевой, лоб высокий, челюсти с маленькими клыками, выражен подбородочный выступ, жевательные мышцы относительно слабые. Масса мозга человека в 2—2,5 раза больше, чем у человекообразных обезьян.

Ещё разительнее отличия в способностях к рассудочной деятельности, производству орудий труда и речевому общению.

Человек Шимпанзе

Рис. 123. Цветное рентгеновское изображение черепа и кожный узор ладоней шимпанзе и человека

Эти примеры свидетельствуют о значительном отличии человека от обезьян. Следовательно, современные человекообразные обезьяны не могли быть прямыми предками человека. Палеонтологи установили, что эволюционные ветви человека и шимпанзе разошлись 6—7 млн лет назад, а линия горилл отделилась от общего ствола ещё раньше — 7—10 млн лет назад.

Вопросы и задания

1. Пользуясь текстом параграфа, составьте схему, показывающую систематическое положение человека в классификации живой природы.
2. Охарактеризуйте общие черты, связывающие человека и современных человекообразных обезьян.
3. Известно, что шимпанзе по своим признакам наиболее близко стоит к человеку (например, у шимпанзе и человека более 90 % общих генов, сходны большинство белков, группы крови). Может ли это сходство служить доказательством того, что человек произошёл от шимпанзе? Ответ аргументируйте.
4. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, соберите материал о методах изучения доказательства родства человека и человекообразных обезьян. Смонтируйте презентацию и выступите с сообщением перед одноклассниками.

§ 54. Основные этапы эволюции человека

Каковы движущие силы эволюции?

Общие предки человека и человекообразных обезьян. Общими предками современных человекообразных обезьян и людей были ***дриопитеки*** (от лат. *dryas* — древесный и греч. *pithēkos* — обезьяна, рис. 124). Эти обезьяны 15—25 млн лет назад были широко распространены в Африке, Азии и Европе. Быстро бегать по земле они не могли и, скорее всего, передвигались по толстым горизонтальным ветвям деревьев.

Пралюди — австралопитеки. Прямыми предшественниками человека считают ***австралопитеков*** (от лат. *australis* — южный и греч. *pithēkos* — обезьяна). Их скелетные останки обнаружены главным образом в Южной Африке. Австралопитеки представляли собой большую группу видов, просуществовали в течение длительного отрезка времени — они жили 4,0—1,2 млн лет назад.

Австралопитеков (см. рис. 124) трудно назвать типичной обезьяной — их строение уже очень напоминало человека. Масса их тела составляла 20—65 кг при росте около 100—150 см. Значительное сходство с людьми существовало и в строении зубной системы — они имели небольшие, почти как у современного человека, клыки. Расположение затылочного отверстия в основании черепа, как у человека, свидетельствует о том, что ходили

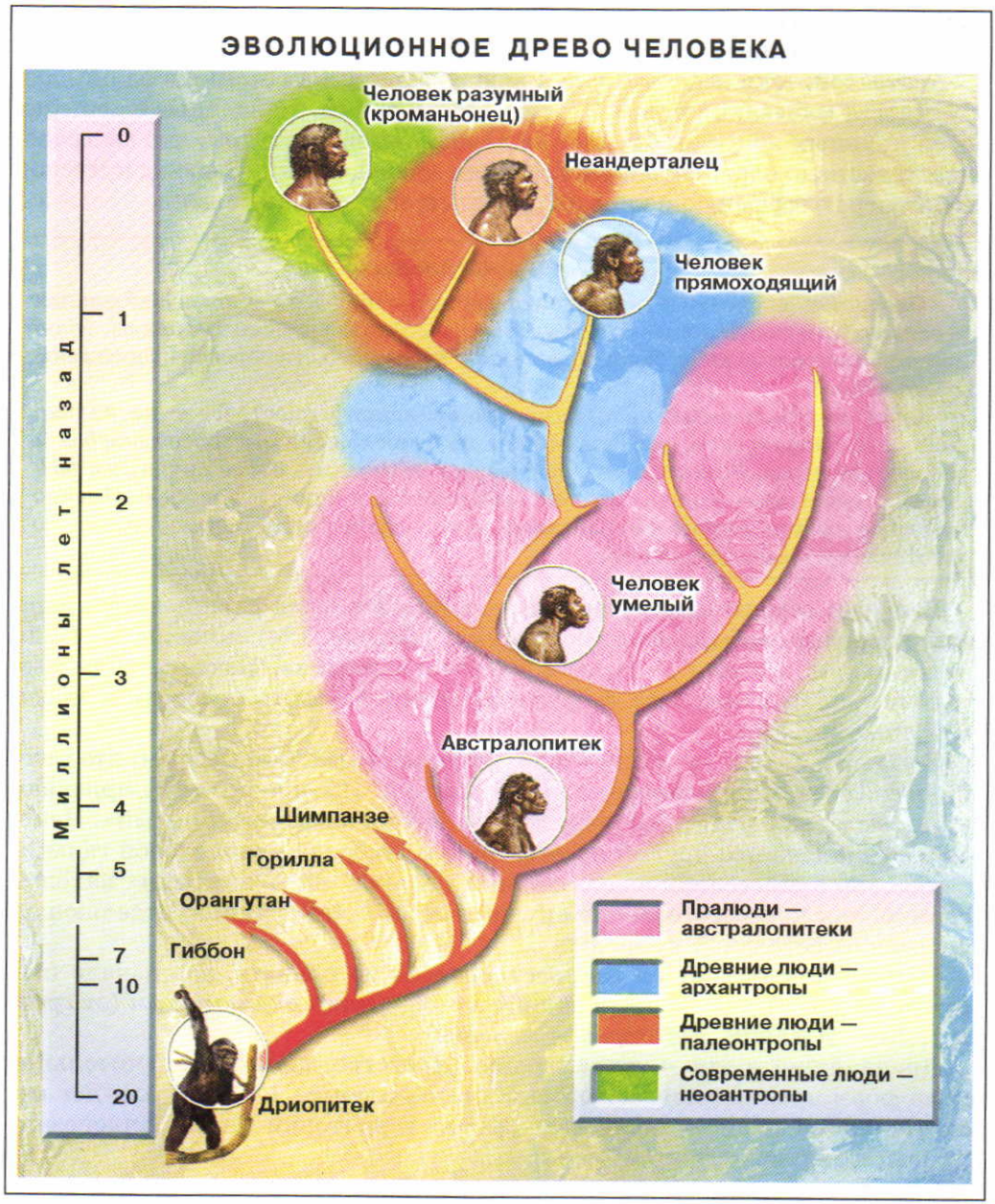


Рис. 124. Основные этапы эволюции человека

они на двух ногах. Возникновение прямохождения — важнейшее событие в эволюции предков человека.

Австралопитеки использовали природные предметы (камни и палки) как орудия для добывания пищи, охоты и самообороны. Найденные в пещерах кости крупных копытных и мелких павианов говорят о том, что австралопитеки активно охотились и употребляли мясную пищу. Переход к мясной пище сыграл огромную роль в дальнейшей эволюции человека.

Для любознательных

Охотились австралопитеки и на подобных себе — на многих найденных черепах обнаружены явные следы ударов. Подобно современным людям, большинство австралопитеков были правшами (у большей части черепов повреждены левые виски).

Судя по ископаемым находкам, одновременно существовало несколько видов австралопитеков, различавшихся по телосложению, строению зубов и распространению. Растительноядные формы отличались более крупными размерами тела и мощными челюстями; всеядные были намного изящнее. Именно всеядные начали широко использовать для охоты и разделки туш орудия, но изготавливать их ещё не умели.

Наиболее вероятными предками рода Человек были ранние австралопитеки (например, *австралопитек афарский*, см. рис. 124), жившие 3—4 млн лет назад. Их останки найдены в Восточной Африке. Поздние виды австралопитеков обитали уже вместе с ранними формами человека и могли быть его жертвами.

Человек ***умелый***, живший около 2 млн лет назад, был первым, кто оставил после себя примитивные галечные орудия. Именно по этому признаку он был выделен в род *Homo* (человек) и получил название «умелый». Некоторые из найденных орудий изготовлены из твёрдой кварцитовой гальки, специально принесённой из отдалённых районов. Значение таких находок огромно, так как изготовление орудий труда — это граница, отделяющая человека от остальной природы.

Человек умелый начал распространяться по планете, дав начало широкому «вееру» форм — ***древнейшим людям***, или ***архантропам*** (от греч. *archaios* — древний, *anthrōpos* — человек).

Древнейшие люди — архантропы. Известно довольно значительное число форм архантропов, которые жили на планете 1,5—0,5 млн лет назад. Их окаменевшие останки находили на территории Китая, Индонезии, Европы, Северной Африки.

С зоологической точки зрения все эти формы относятся к одному виду — ***человеку прямоходящему***.

Для любознательных

Следует отметить, что останки человека прямоходящего были найдены прежде, чем обнаружены останки австралопитеков и человека умелого, поэтому учёные сочли, что это первое двуногое существо. Теперь мы знаем, что это не так, но название вида осталось неизменным.

От современного человека архантропов отличали мощный надбровный валик, покатый лоб, плоский нос, отсутствие настоящего подбородочного выступа. Масса мозга была больше, чем у человека умелого, и составляла 800—1000 г. Средний рост древнейших людей колебался от 150 до 170 см.

Архантропы жили в пещерах, умели строить примитивные укрытия из камней и веток. С помощью более совершенных орудий, рубил и каменных сечек, они успешно охотились и разделывали добычу. Стадный образ жизни, коллективная охота и иная трудовая деятельность вели к дальнейшему развитию головного мозга. Судя по его размерам и реконструкции строения гортани, древнейшие люди были способны к примитивной речи.

Добывать огонь архантропы ещё не умели, но заботливо сохраняли и поддерживали его годами. Огонь сделал человека менее зависимым от климата, позволил широко расселиться по Земле, сыграл важную роль в совершенствовании орудий труда.

Возникновение речи, изготовление орудий труда, общественный образ жизни, использование огня выделили человека из мира окружающей его природы. Вместе с тем эволюция архантропов шла под воздействием естественного отбора, т. е. подчинялась биологическим законам.

После периода максимального расцвета (600—400 тыс. лет назад) архантропы исчезли, дав начало новой группе — древним людям, или ***палеоантропам*** (от греч. *palaios* — древний и *anthrōpos* — человек).

Древние люди — палеоантропы. По месту первой находки в 1848 г. (долина р. Неандерталь, Германия) палеоантропов нередко называют **неандертальцами**.

В настоящее время останки этой древней группы людей, живших от 300 до 40 тыс. лет назад, найдены в Европе, Африке и Азии.

Каменные орудия неандертальцев по своему назначению были разнообразны и представляли собой разновидности остроконечников, скрёбел и рубил. Древние люди умели не только поддерживать, но и добывать огонь.

Палеоантропы были умелыми охотниками — в районах с холодным климатом им приходилось отвоёвывать убежища-пещеры у опасных хищников — пещерных медведей и львов.

Для любознательных

Учёные обнаружили существование охотничьих культов у некоторых племён древних людей. В пещерах Европы были найдены древние «алтари» с медвежьими черепами. Самые первые захоронения людей относятся к тому же времени. Предполагают, что у неандертальцев впервые возникло представление о загробной жизни. Вероятно, им принадлежат и первые шаги в области искусства.

Палеоантропы были неоднородной группой. Их эволюция пошла в двух направлениях. В результате отбора на мощное телосложение возникли классические неандертальцы. Эта эволюционная стратегия принесла лишь временный успех в борьбе за существование, и классические неандертальцы вымерли в результате конкуренции с более прогрессивными формами палеоантропов. От классических неандертальцев тех отличали изящное телосложение, высокий лоб, подбородок, свидетельствующий о развитии речи.

Главное направление эволюции прогрессивной формы палеоантропов — усложнение социальных связей в родовых группах. Опыт одного поколения передавался другому, и влияние социальных факторов в эволюции становилось сильнее. Это помогло им выжить в борьбе за существование и привело 50—40 тыс. лет назад к возникновению ***человека разумного*** (*Homo sapiens*) — вида, к которому принадлежим и мы с вами.

Современные люди — *неоантропы* (от греч. *neos* — новый, *anthrōpos* — человек). По месту первой находки в 1868 г. (грот Кро-Маньон, Франция) неоантропы названы ***кроманьонцами***. В дальнейшем останки ископаемых людей современного физического типа были обнаружены в Европе, Азии, Африке, Австралии. По внешним признакам кроманьонцы не отличались от людей современного физического типа.

Культуру неоантропов отличали огромное разнообразие орудий труда (ножи, копья, дротики, скребки, иглы и др.) и, как можно предположить, сложная трудовая деятельность.

Возникновение искусства и начальных форм религии: охотничьей магии и тотемизма (веры в кровнородственную связь племени с животным или растением) — стало важной ступенью в социально-культурном развитии человека. Ещё одно значительное достижение — переход от охоты и собирательства к животноводству и земледелию. Приручение животных и окультуривание растений уменьшили зависимость от неблагоприятных факторов среды.

Охватывая мысленным взглядом эволюционный путь человека, мы видим, что со временем роль биологических факторов, в первую очередь естественного отбора, постепенно ослабла, а роль социальных факторов усилилась, пока в конце концов они не стали ведущими.

Вопросы и задания

1. Назовите признаки, которые отличали австралопитеков от человекообразных обезьян.
2. Объясните, на каком основании архантропов относят к людям, а не к пралюдям.
3. В каком направлении шла эволюция палеоантропов?
4. По тексту § 54 учебника и рис. 124 составьте таблицу, в которой отразите особенности строения и образа жизни каждой из форм предков человека.
5. Приведите примеры усиления роли социальных факторов в эволюции человека.

§ 55. Роль деятельности человека в биосфере

Каковы последствия хозяйственной деятельности человека для природных экосистем?

Взаимодействие человека и природы. Для ранних стадий эволюции человека характерен присваивающий тип хозяйства. Человек всё необходимое брал у природы, не заботясь о восстановлении используемых ресурсов. Существует мнение, что присваивающее хозяйство не наносит большого вреда природе, так как человек забирает ровно столько, сколько ему нужно. Однако это не так. Неандертальцы и кроманьонцы были охотниками на крупных животных. В их арсенале находилось довольно эффективное охотничье оружие: лук и стрелы, копья и дротики. Кроме того, человек применял загонные методы охоты, при которых напрасно гибли десятки и сотни зверей, поэтому древние люди могли сильно подорвать численность и даже полностью уничтожить некоторые виды животных (рис. 125).

При переходе к земледелию и скотоводству (воспроизводящий тип хозяйства) возник избыток пищевых ресурсов и как следствие — быстрый рост населения. Со временем это привело к дефициту пахотных земель. На территории лесной зоны Европы земледелие и выпас скота стали основной причиной изменения естественных сообществ уже к Средним векам. Например, в XVII в. в Европе и Северной Америке почти полностью были сведены широколиственные леса.

Со второй половины XIX в. разрушающее влияние на природу начинает оказывать бурно развивающаяся промышленность. В настоящее время загрязнение окружающей среды промышленными предприятиями охватывает практически всю Землю. Человечество использует невозобновляемые природные энергетические ресурсы (уголь, газ, нефть) такими темпами, что в течение 100—150 лет они могут быть полностью исчерпаны.

При сжигании топлива в окружающую среду попадает огромное количество углекислого газа и паров воды, что вызывает так называемый парниковый эффект. Выброс металлургическими предприятиями оксидов

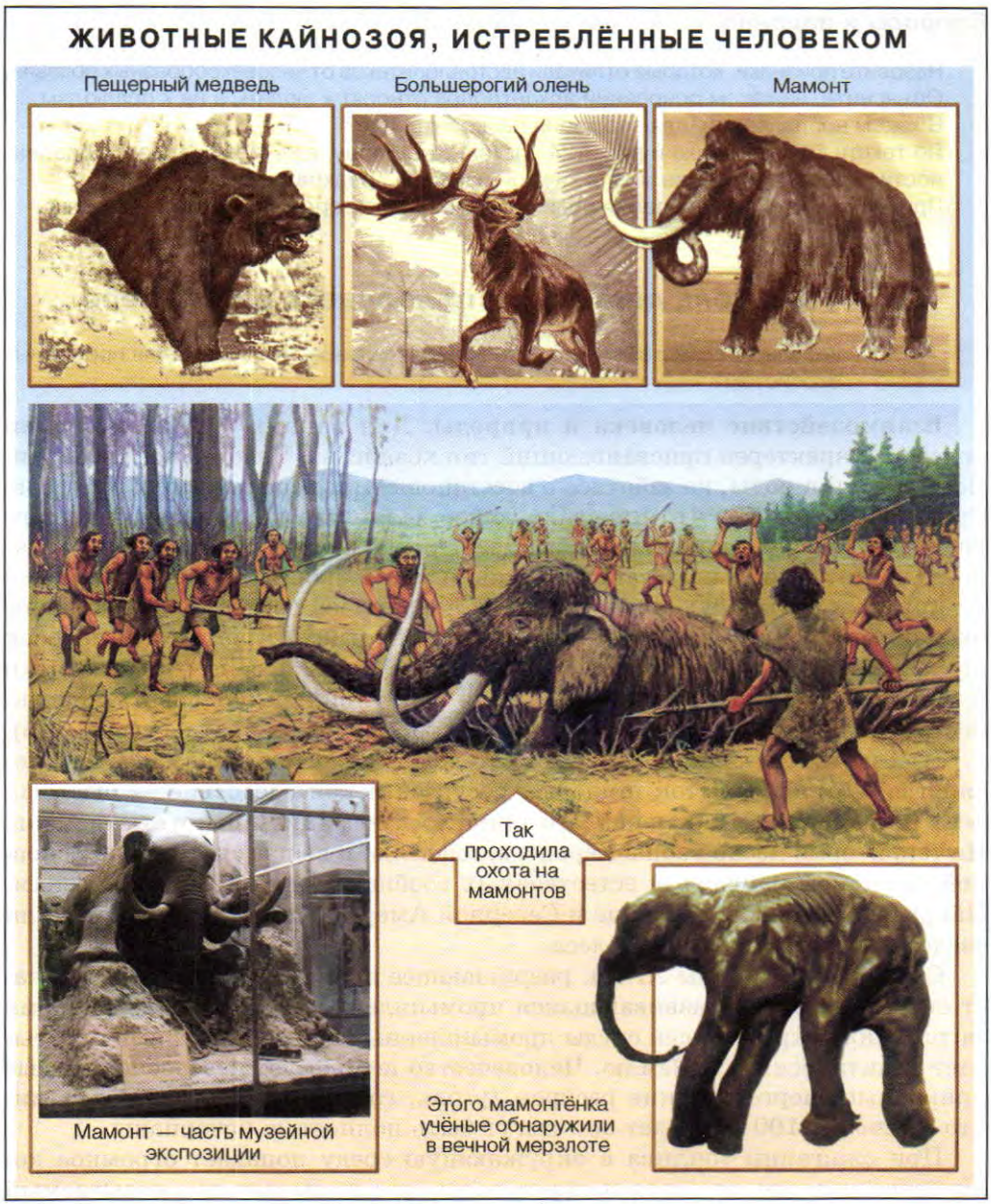


Рис. 125. Некоторые виды животных, истреблённые человеком

азота и серы приводит к выпадению кислотных осадков. Это угнетающе действует на растения и водных обитателей.

Современное общество пришло к пониманию ограниченных возможностей биосферы. Стало очевидным, что экологически грамотное и рациональное природопользование — единственно возможный путь выживания человечества. Глобальная экологическая проблема современности — сохранение всего многообразия природных экосистем как среды обитания человека.

Коэволюция природы и общества. В. И. Вернадский был первым, кто понял важность гармоничного взаимодействия природы и общества — коэволюции. В самом начале XX в. он сформулировал идею о человечестве как мощной геологической силе планеты и создал учение о ноосфере.

Под ***ноосферой*** (от греч. *noos* — разум и *sphaira* — шар, сфера) В. И. Вернадский понимал *качественно новое состояние в эволюции биосферы*, когда человечество берёт на себя ответственность за её дальнейшее развитие.

Переход от биосферы к ноосфере — единственный путь, ведущий к сохранению и процветанию жизни и человека. Биосфера может существовать без человека, а человек вне биосферы существовать не может.

Для обеспечения своего дальнейшего развития человечеству предстоит научиться соизмерять свои потребности с возможностями биосферы.

Переход биосферы в ноосферу возможен при следующих условиях:

- высокий уровень развития науки и обоснованность с научных позиций любой человеческой деятельности;
- исключение войн из жизни общества, всесторонний обмен информацией между людьми;
- высокое качество жизни людей в самых различных странах и частях нашей планеты;
- социальное равенство людей, независимое от социальной и расовой принадлежности;
- поиски альтернативных технологий, открытие новых источников энергии (особенно эффективных способов использования энергии солнечного излучения).

Понятие о коэволюции человека и биосферы, т. е. о необходимости полной согласованности развития человечества с развитием биосферы, ввёл русский учёный Н. Н. Моисеев. Поиски путей такого оптимального взаимодействия общества и природы направлены на изменение технологии производства и характера потребления, переосмысление прежних норм жизни и культурных традиций.

Концепция устойчивого развития. В докладе Международной комиссии ООН (1987) была предложена *концепция устойчивого развития* — такого развития мирового сообщества, при котором улучшение условий жизни

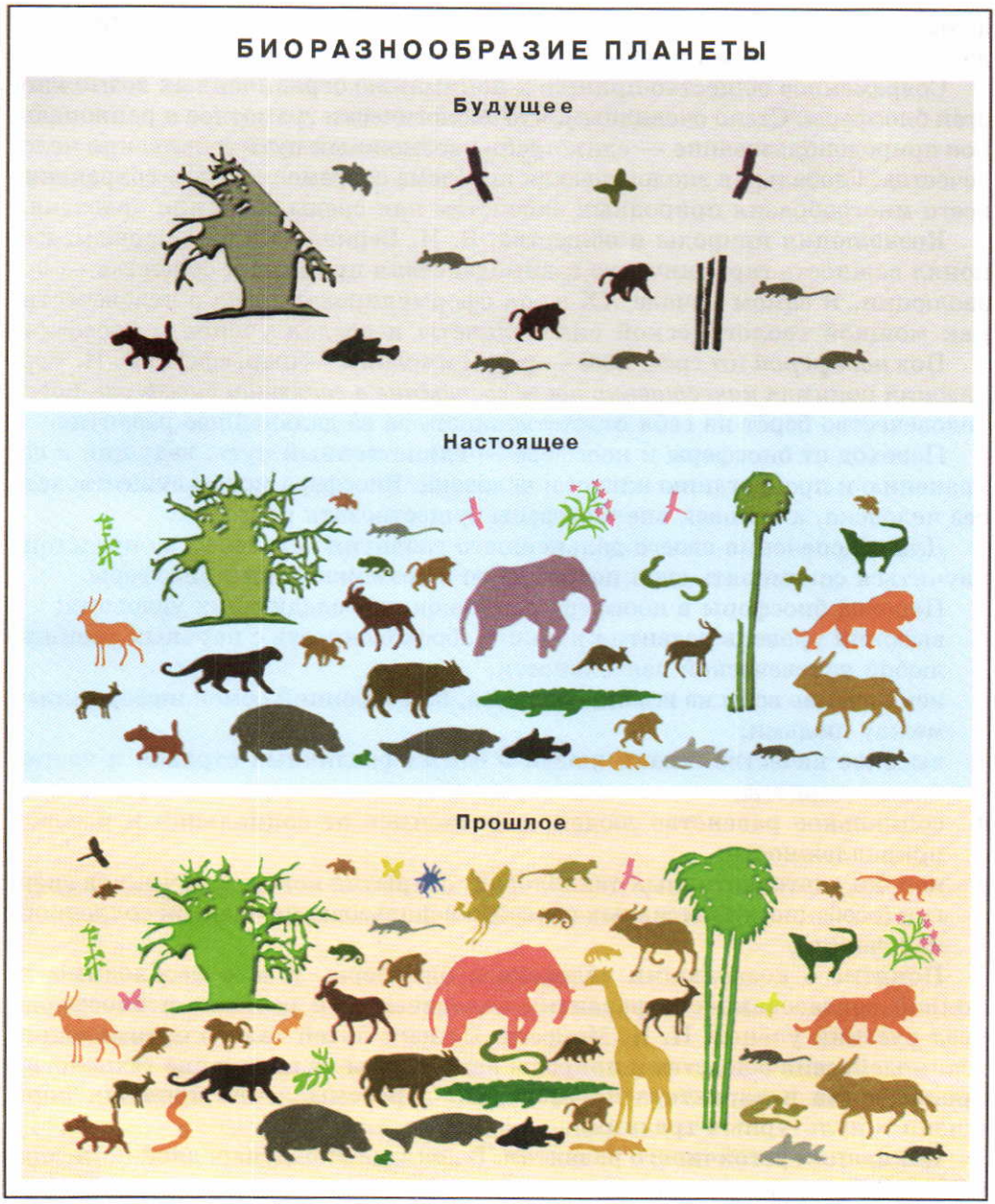


Рис. 126. Сохранение биоразнообразия биосферы — задача человечества

и удовлетворение потребностей человека осуществляются без ущерба для будущих поколений.

Воздействие на окружающую среду должно оставаться в пределах возможностей биосферы.

Конференция ООН по окружающей среде и развитию, проходившая в Рио-де-Жанейро (1992), утвердила концепцию устойчивого развития как руководство к действию для всех стран нашей планеты в XXI в. В концепции была изложена стратегия, основанная на учёте интересов и потребностей не только нынешних, но и будущих поколений людей. Это касается перестройки всех сфер жизни общества. Концепция устойчивого развития включает:

- стратегию развития промышленности — отказ от старых форм эксплуатации природы и переход на новые технологии, позволяющие предотвратить загрязнение биосферы, сократить потребление невозобновимых природных ресурсов;
- стратегию развития сельского хозяйства — повышение урожайности на основе рациональных приёмов обработки почвы;
- согласованную деятельность людей для обеспечения рационального использования природы и преодоления экологических катастроф;
- реализацию принципа планирования семьи, так как при нынешнем темпе роста населения планеты улучшение экологической ситуации невозможно;
- сохранение биологического разнообразия биосферы (рис. 126).

Итак, в центре стратегии устойчивого развития находится человек. Становится очевидным, что от того, каким будет этот человек и какова будет система его нравственных ценностей, зависит не только его личная судьба, но и судьба всей планеты.

Вопросы и задания

1. Охарактеризуйте взаимоотношения человека и природы на разных этапах их развития.
2. Можно ли утверждать, что на современном этапе развития общества есть все предпосылки для перехода биосферы в ноосферу? Ответ аргументируйте.
3. Прокомментируйте выражение одного известного эколога: «Мы не унаследовали Землю от своих родителей. Мы её взяли взаймы у своих детей».
4. Объясните, что следует понимать под коэволюцией природы и общества.
5. Ознакомьтесь с положениями концепции устойчивого развития. В Интернете (www.elementy.ru, www.ru.wikipedia.org) и в научно-популярной литературе подберите материал, иллюстрирующий каждое из этих положений. Подготовьте презентацию и обсудите материал с одноклассниками.

ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

«СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ КЛЕТКИ — ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЖИВОЙ СИСТЕМЫ»

Исследовательская работа по теме «Поступление воды в клетку» (на основе модели живой клетки «клеточки» Траубе)

Известно, что одним из продуктов реакции медного купороса с жёлтой кровяной солью является полупроницаемая мембрана ферроцианида меди (II), которая хорошо пропускает молекулы воды и не пропускает молекулы $CuSO_4$. Выскажите свои предположения о том, что произойдёт в пробирке с раствором медного купороса, если в него поместить кристаллик жёлтой кровяной соли.

Поставьте соответствующий эксперимент и проверьте свою гипотезу. На чём основывается рост искусственной клеточки?

Используя результаты опыта и биологические знания о том, что плазмалемма живой клетки также обладает свойством полупроницаемости (например, молекулы воды легко проходят через мембрану), ответьте на предлагаемый ниже вопрос.

Известно, что физиологический раствор, который вводят внутривенно при больших кровопотерях, представляет собой 0,9-процентный раствор NaCl. Что произойдёт с клетками крови, если использовать раствор меньшей концентрации? Большей концентрации?

Исследовательская работа по теме «Разделение пигментов листа методом хроматографии»

Для разделения пигментов применяют метод хроматографии, основанный на распределении исследуемых веществ между двумя фазами — неподвижной (твёрдая фаза или жидкость, связанная на инертном носителе) и подвижной (газовая или жидкая фаза).

Свежие листья растений разотрите пестиком в ступке до кашицеобразного состояния (для получения лучшего результата можно добавить немного кварцевого песка). Добавьте этиловый спирт и продолжайте растирать до растворения пигментов листа в спирте. Вытяжка пигментов должна иметь тёмно-зелёный цвет.

С помощью воронки профильтруйте вытяжку через бумажный фильтр в химический стакан. На полоске фильтровальной бумаги длиной 8 см и шири-

ной 3 см карандашом начертите стартовую линию, отступив примерно 3 см от края. На неё при помощи тонкого капилляра нанесите вытяжку (по каплям).

Чтобы концентрация вытяжки пигментов на линии была высокой, нанесение повторите 5—6 раз. Бумагу периодически подсушивайте, чтобы пигменты не растекались и не образовали большое пятно. Полоску фильтровальной бумаги поместите в стакан, на дне которого тонким слоем налит очищенный бензин. С помощью скотча заранее прикрепите к краям стакана нитку, а на неё подвесьте бумажную полоску, которая своим нижним концом будет погружена в растворитель. Стакан следует закрыть стеклом.

В результате на фильтровальной бумаге пигменты разделятся и распределятся в определённом порядке: первым снизу адсорбируется хлорофилл *в* — жёлто-зелёного цвета, затем хлорофилл *а* — сине-зелёного цвета, выше ксантофилл (жёлтая полоса). Каротин очень быстро движется и располагается вверху полоски хроматографической бумаги у линии растворителя.

Используя дополнительную литературу, ресурсы Интернета, выясните, чем отличаются хлорофиллы *а* и *в*. Какую роль в фотосинтезе играет каждый из выявленных пигментов?

«ОРГАНИЗМ — ЦЕЛОСТНАЯ СИСТЕМА»

Проектная работа по теме «Выявление наиболее эффективного способа размножения фиалки узамбарской»

Возьмите несколько листьев фиалки узамбарской (сенполии) одного сорта.

В качестве субстрата для укоренения растения можно выбрать почву с пришкольного участка или готовую почву «Сенполия», добавить в неё крупнозернистый песок, торфяные таблетки, сфагнум и воду. Влажный субстрат насыпьте в пластиковый стаканчик (2/3 стакана) и поместите в него лист или листовой черенок фиалки. Накройте стаканчик пластиковым пакетом.

В каждый из субстратов поместите по три объекта: лист с черешком, лист без черешка и листовой черенок (вырезается конус из листовой пластинки по главной жилке, расширенный у верхушки листа и зауженный к черешку). Все укореняемые черенки должны находиться в одинаковых условиях освещённости и при одной и той же температуре.

Фиксируйте в дневнике наблюдений появление первых дочерних розеток у каждого образца. Сделайте выводы о наиболее эффективном способе размножения фиалки узамбарской. Дополните своё исследование информацией о биологических особенностях этого растения и составьте рекомендации по разведению и выращиванию сенполии.

Исследовательская работа по теме «Определение биоритмов (хронотипа) человека»

В течение трёх дней через каждые 2 часа измеряйте температуру тела и подсчитывайте пульс в спокойном состоянии. Пульс подсчитывайте в течение 15 с, затем умножьте полученное значение на 4. Полученные данные фиксируйте.

Выделите среди своих измерений тот отрезок дня, когда показатели температуры тела и пульса максимальны — это пик активности главных систем организма. Используя данные таблицы, сделайте вывод о вашем хронотипе.

Хронотип	Пик активности	Спад активности
Жаворонок (утренний тип)	8—10 ч	19 ч
Голубь (индифферентный тип)	15 ч	Явного спада активности не наблюдается
Сова (вечерний тип)	17—18 ч	7—11 ч

«ГЕНЕТИКА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА»

Проектная работа по теме «Составление генеалогического древа семьи»

Соберите сведения, касающиеся проявления в вашей семье какого-то признака (цвет глаз, волос, рождение близнецов) или заболевания (сахарный диабет, близорукость, гипертоническая болезнь и т. п.). Учитывайте проявление исследуемых признаков в пределах нескольких поколений (дедушки и бабушки с обеих родительских сторон, родители, их родные и двоюродные братья и сёстры и т. п.). Используя собранный генетический материал, составьте генеалогическое древо семьи. В центре располагают пробанда — носителя исследуемого признака, которого изображают в виде квадрата (если он мужского пола) или кружком (если женского пола) (см. рис. 52, 53). Рядом слева направо укажите братьев и сестёр, соединив их сверху графическим коромыслом. Выше расположите родителей, соединив их чертой брака. Над родителями — бабушек и дедушек. Соедините горизонтальными линиями всех представителей одного поколения (подпишите имена или обозначьте арабскими цифрами). Вертикальными линиями соедините представителей разных поколений и обозначьте их римскими цифрами (см. рис. 52, 53).

Проведите анализ родословного древа и определите характер изучаемого признака (доминантное или рецессивное, сцепленное с полом или ген, вызывающий проявление этого признака, находится в аутосоме). Попробуйте составить прогнозы относительно проявления признака у потомков.

Работу оформите на плотном листе бумаги или в виде презентации.

Проектная работа по теме «Выявление основных компонентов табачного дыма и его влияния на здоровье человека»

Используя «Экологический практикум школьника» (Алексеев С. В., Груздева Н. В., Гущина Э. В. Экологический практикум школьника: учеб. пособие. Самара: Корпорация «Фёдоров»: Учебная литература, 2005), изучите данные таблицы 15.18 «Основные компоненты табачного дыма». Опираясь на ресурсы Интернета, медицинскую литературу, найдите информацию о влиянии отдельных компонентов табачного дыма на здоровье человека. Определите, какие из них официально признаны мутагенами. Объясните, почему табакокурение может стать причиной образования злокачественных опухолей, особенно органов дыхания, а также вызвать преждевременные роды и перинатальную смертность.

Соберите информацию о современных способах борьбы с курением. Проанализируйте её и выскажите своё мнение. Оформите проект и выступите на школьной конференции.

«БИОЛОГИЧЕСКИЕ СООБЩЕСТВА»

Проектная работа по теме «Изучение видового состава лесного сообщества»

Посетите в выходной день пригородный лес и изучите его видовой состав.

В растительном сообществе данного леса определите следующие ярусы: древесный (древостой), подлесок, травостой, мохово-лишайниковый покров.

С помощью определителя выясните видовой состав данного сообщества. Составьте формулу видового состава древесного яруса (рассчитывается по процентному соотношению количества деревьев разных видов: например, если в древостое 50 % ели, 30 % берёзы, 20 % осины, формула записывается 5Е3Б2Ос).

Перечислите виды кустарников, образующих ярус подлеска, с указанием их степени распространения (обильно, рассеянно, редко).

Для характеристики травяно-кустарничкового яруса заложите 10 учётных площадок площадью 1 $м^2$ (для этого в разных частях леса обозначьте колышками квадраты со стороной 1 м). На каждой площадке определите проективное покрытие отдельных видов (т. е. отношение площади, занимаемой этим видом, к общей площади площадки в процентах). Для каждого вида определите абсолютную встречаемость (число площадок, на которых был отмечен этот вид) и относительную встречаемость (отношение абсолютной встречаемости к числу учётных площадок в процентах).

Аналогичным образом составьте характеристику мохово-лишайникового яруса.

Проанализируйте полученные результаты. Выявите доминирующие и сопутствующие виды, оцените степень участия в растительном покрове лесов видов-вселенцев (луговой, сорной, придорожной растительности). Включение нелесных видов подсчитывается в процентах от общего видового состава соответствующего яруса леса.

Сформулируйте гипотезу о том, каковы основные факторы, определяющие видовой состав растительного сообщества и степень его нарушенности. Оформите проект и выступите на школьной конференции.

«ЭКОСИСТЕМЫ»

Исследовательская работа по теме «Определение чистоты воздуха по лишайникам (методом лихеноиндикации)»

Лишайники — один из перспективных объектов для биоиндикации. Эти организмы высокочувствительны к загрязнению среды обитания. На них избирательно действуют прежде всего вещества, увеличивающие кислотность среды (SO_2, HF, HCl, NO_x).

Определите наличие основных групп лишайников на территории микрорайона, в котором расположена школа, и сделайте вывод о загрязненности воздуха кислотными оксидами.

Выберите район, в котором будете проводить наблюдения. На карте микрорайона отметьте близлежащие ТЭЦ, заводы, другие предприятия, дороги с интенсивным транспортным движением. Разбейте исследуемую территорию на квадраты 10×10 м. В каждом квадрате отметьте 10 отдельно стоящих деревьев наиболее распространенного вида. На каждом дереве выделите четыре пробные площадки, ограниченные рамкой 10×10см:

две у основания ствола (с разных его сторон) и две на высоте 1,4—1,6 м. Исследуйте выбранные площадки на предмет наличия разных видов лишайников.

Данные занесите в таблицу 1. Определите степень загрязнения воздуха по таблице 2 и концентрацию диоксида серы в воздухе исследуемой территории.

Таблица 1

Признаки	Дерево № 1				
	Площадка 1	Площадка 2	Площадка 3	Площадка 4	Среднее
Общее количество видов лишайников, в том числе:					
кустистых					
листоватых					
накипных					
Степень покрытия древесного ствола лишайниками, % площади рамки					

Таблица 2

Зона	Степень загрязнения	Концентрация диоксида серы	Наличие (+) или отсутствие (–) лишайников		
			Кустистые	Листоватые	Накипные
1	Загрязнения нет	менее 0,005 мг/м^3	+	+	+
2	Слабое загрязнение	0,005—0,1 мг/м^3	–	+	+
3	Среднее загрязнение	0,1—0,3 мг/м^3	–	–	+
4	Сильное загрязнение (лишайниковая пустыня)	Свыше 0,3 мг/м^3	–	–	–

Оформите результаты своих исследований в виде компьютерной презентации, дополнив её фотогалереей. Доложите о своём исследовании на заседании биологического кружка или школьной конференции.

ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

1. Генетически модифицированные организмы: история получения, проблемы и перспективы.
2. Экологические факторы и здоровье человека
3. Приспособления растений к факторам среды.
4. Наследственные заболевания человека и их профилактика.
5. Мутации и мутагены.
6. Антропогенный фактор: принцип бумеранга.
7. Современные методы селекции растений, животных и микроорганизмов.
8. Рациональное природопользование: проблемы и перспективы.
9. Вирусы и вирусные заболевания.
10. Биотехнология и экологические проблемы.
11. История, проблемы и перспективы клонирования животных.
12. Стволовые клетки: проблемы и перспективы их применения для сохранения здоровья человека.
13. Н. И. Вавилов — пример служения науке.
14. Интродукция видов: возможности и прогнозы.
15. Экологическая характеристика популяций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев С. В., Груздева Н. В., Гущина Э. В.* Экологический практикум школьника: учебное пособие для учащихся. Самара: Корпорация «Федоров», Учебная литература, 2005.
2. *Албертс Б., Брей Д.* и др. Молекулярная биология клетки. М.: Мир, 1994.
3. *Ашихмина Т. Я.* Экологический мониторинг: учеб.-мет. пособие для вузов. М.: Академпроект, 2005.
4. *Бердышев А. П.* От дикорастущих растений до культурной формы. М.: Наука, 1984.
5. *Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К.* Экология. Особи, популяции, и сообщества: в 2 т. М.: Мир, 1989.
6. *Браун В.* Настольная книга любителя природы. Л., 1985.
7. *Вавилов Н. И.* Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости. — Л.: Наука, 1987.
8. *Второв П. П., Дроздов Н. Н.* Рассказы о биосфере. М.: Просвещение, 1981.
9. Геном: автобиография вида в 23 главах / М. Ридли; [пер. с англ. и ред. к. б. н. О. Н. Ревы]. — М.: Эксмо, 2009.
10. *Грин Н., Стаут У., Тейлор Д.* Биология: в 3 т. М.: Мир, 1990.
11. *Дарвин Ч.* Происхождение видов. М.: Просвещение, 1987.
12. *Де Дюв К.* Путешествие в мир живой клетки. М.: Мир, 1987.
13. *Енгелфрид Ю., Маллхол Д., Плетнева Т.* Как защитить себя от опасных веществ в быту/ под ред. М. Браунгарта и Л. А. Алексеевой. М.: МГУ, 1994.
14. *Иорданский Н. Н.* Эволюция жизни: учеб. пособие. М.: Академия, 2001.
15. *Лаптев Ю. П.* Занимательная генетика. М.: Колос, 1982.
16. *Либерман Е. А.* Живая клетка. М.: Наука, 1982.
17. *Линден Ю.* Обезьяны, человек и язык. М.: Мир, 1981.
18. *Нейман Б. Я.* Индустрия микробов. М.: Знание, 1983.
19. *Новиков В. С., Губанов И. А.* Школьный атлас-определитель высших растений: кн. для учащихся. М.: Просвещение, 1985.

20. *Рейвн П., Эверт Р., Айкухорн С.* Современная ботаника: в 2 т. М.: Мир, 1990.
21. *Реймерс Н. Ф.* Популярный биологический словарь. М.: Наука, 1991.
22. *Уотсон Дж. Д.* Двойная спираль. Воспоминания об открытии структуры ДНК. М.: Изд. НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
23. *Фогель Ф., Мотульски А.* Генетика человека: в 3 т. М.: Мир, 1989.
24. *Чухрай Е. С.* Молекула, жизнь, организм. М.: Мир, 1982.
25. *Ярыгин В. Н.* и др. Биология: в 2 кн. М.: Высшая школа, 2004.

ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

www.elementy.ru

Сайт содержит интересные статьи по физике, биологии, химии, математике. Здесь также размещены научные новости и библиотека публикаций.

www.ru.wikipedia.org

Общедоступная универсальная интернет-энциклопедия.

www.biomolecula.ru

Научно-популярный сайт, посвящённый молекулярным основам современной биологии и практическому применению научных достижений в медицине и биотехнологии. Его создатели — молодые биологи, работающие в разных странах.

www.ecosystema.ru

Сайт, посвящённый проблемам полевой биологии, экологии, географии и экологическому образованию школьников.

www.biorg.ru

Сайт, раскрывающий проблемы биологии, жизни на планете Земля. Здесь размещены сведения об открытиях, а также статьи учёных-биологов и любителей природы.

www.medicall.ru

www.membrana.ru

www.sbio.info

www.humbio.ru

www.medbiol.ru

Предметный указатель

Абиогенез 257
Абиотический фактор 99
Австралопитек 276
Автотрофы 49
Агроценоз 175
Агроэкосистема 202
Аденин 29
Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ) 33
Азотистое основание 29
Аллельные гены (аллели) 108
Альтернативный признак 109
Анафаза 68
Антикодон 63
Антропогенный фактор 99
Аппарат Гольджи 42
Архантроп 278
Аутосомы 119

Бактериофаг (фаг) 73
Биогенез 257
Биогенное вещество 209
Биогенный круговорот 209
Биогеоценоз 197
Биокосное вещество 207
Биологическая продукция 200
Биологический круговорот 198
Биомасса 200
Биополимер 19
Биоритмы 101
Биосфера 207
Биотический фактор 99
Биоценоз (сообщество) 170
Бластомеры 95
Близкородственное скрещивание 146
Борьба за существование 225
Борьба с неблагоприятными условиями внешней среды 228

Вегетативная клетка 91
Вегетативное размножение 79
Вид 241
Видовая структура биоценоза 175
Видообразование географическое 247
Видообразование экологическое 249
Виды-доминанты 175
Виды-средообразователи 175
Вирусы 72
Вирусология 73
Внутривидовая борьба 226
Внутривидовые взаимодействия 152
Водородные связи 15
Возрастная пирамида 161
Волны жизни (популяционные) 232

Гаметогенез 86
Гаметофит 81, 90
Гаплоидный набор хромосом 66
Ген 47
Генеалогическое древо 131
Генеративная клетка 91
Генетика 106
Генетика человека 130
Генетические карты хромосом 119
Генетический код 63
Генетический материал клетки 65
Генные болезни 134

Генные мутации 127
Гено́м 127
Геномные мутации 127
Генотип 106
Генофонд 230
Географическая изоляция 246
Гермафродит 88
Гетерозиготный организм 108
Гетеротрофы 49
Гибридизация 146
Гибридной силы эффект 147
Гибридологический анализ 109
Гипотеза чистоты гамет 114
Гликолиз 57
Глобальный круговорот веществ 209
Голозои 78
Гомозиготный организм 108
Гомологичные хромосомы 69
Горизонтальная структура биоценоза 173
Грана 53
Гуанин 29

Движущие силы (факторы) эволюции 226
Двойное оплодотворение 91
Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) 29
Демографическая пирамида 161
Денатурация 24
Дигибридное скрещивание 116
Диплоидный набор хромосом 66
Диполь 15
Доминантный признак 111
Дриопитек 276

Живая система (биосистема) 7
Живое вещество 207
Жизненный цикл клетки (клеточный цикл) 64
Жиры 31

Закон гомологических рядов наследственной изменчивости 137
Закон доминирования 111
Закон единообразия гибридов первого поколения 112
Закон независимого наследования признаков 116
Закон расщепления 115
Зигота 87

Изменчивость 106
Изоляция 234
Интерфаза 64

Клеточная оболочка 38
Клеточная теория 35
Клеточное дыхание 58
Клеточный центр 44
Клон 81
Коацерватные капли (коацерваты) 260
Комбинативная изменчивость 128
Комплементарные азотистые основания 29
Конкуренция 180
Консументы 187
Конъюгация 69
Косное вещество 207
Критерии вида 243
  генетический 243
  морфологический 243
  экологический 243
  этологический 243
Кроманьонец 280

Лизосомы 42
Липиды 30
Локус гена 107

Макроэлементы 12
Макроэргические связи 33
Матричная РНК 30
Медико-генетическое консультирование 134
Мегаспоры 91
Межвидовая борьба 228
Межвидовые взаимодействия 167
Мейоз 69
Мембранные органоиды 42
Метафазы 66
Методический отбор 144
Микориза 181
Микроспоры 91
Микроэлементы 12
Миксотрофы 78
Мимикрия 239
Митоз 65
Митохондрии 43
Мозаичность растительного покрова 173
Молекулярная биология 11
Моногибридное скрещивание 109
Мономер 19
Моносахариды 19
Мутагены 126
Мутагенез искусственный 149
Мутации 126
Мутационная изменчивость 126
Мутуализм 180

Наследственная изменчивость 126
Наследственность 106, 126
Наследственные заболевания человека 133
Наследственный фактор 108
Научный метод 9
Неандерталец 279
Немембранные органоиды 42
Ненаследственная изменчивость 124
Неоантроп 280
Неполное доминирование 112
Ноосфера 283
Норма реакции 126
Неродственное скрещивание 146
Нуклеиновые кислоты 29
Нуклеотид 17, 29

Ограничивающий фактор 100
Одомашнивание 142
Окраска покровительственная 237
Окраска предостерегающая 234
Онтогенез 93
Оплодотворение 87
Оптимальное значение фактора (оптимум) 99
Организм (особь, индивидуум) 71
Органические вещества 18
Отбор естественный 226
Отбор искусственный 142
Отдалённая гибридизация 146

Палеоантроп 279
Палеонтология 252
Партеногенез 88
Пептидная связь 22
Пиноцитоз 43
Пировиноградная кислота (ПВК) 58
Пластический обмен 51
Плотность популяции 156
Полимер 19
Полипептиды (белки) 22
Полиплоид 147
Полисахариды 20
Половые хромосомы 121
Полярное тельце 86
Постэмбриональный период 96
Популяция 152
Порода 136
Поток энергии 198

Правило конкурентного исключения Гаузе 193
Правило пирамиды биологической продукции 200
Предел выносливости 100
Продуценты 187
Прокариоты 48
Профаза 66

Размножение бесполое 78
Размножение половое 83, 88
с оплодотворением 88
без оплодотворения 88
Редуценты 187
Рекомбинации 69
Ренатурация 24
Репродуктивная изоляция 243
Репродукция 79
Рецессивный признак 111
Рибонуклеиновая кислота (РНК) 30
Рибосомальная РНК 30
Рибосомы 42

Сапротрофы 77
Связи пищевые 178
Сезонные ритмы 103
Селекция 136
Сеть пищевая 189
Симбиоз 183
Синтез белка 60
Соматические (неполовые) клетки 66
Сорт 136
Сперматозоид 85
Споры 82
Спорофит 93
Среда обитания 98
Стоп-кодон 63
Строма 53
Структура биоценоза (сообщества) 168
Структура популяции 156
Сукцессия 204
Суточные ритмы 101

Телофаза 68
Территориальное поведение 166
Тилакоид 53
Тимин 29
Транскрипция 62
Трансляция 61
Транспортная РНК 30
Триплет (кодон) 62

Ультрамикроэлементы 12

Фагоцитоз 43
Факторы эволюции 226
Фенотип 106
Ферменты 24
Фотолиз воды 54
Фотопериодизм 103
Фотосинтез 51
Фрагментация 79

Хлоропласты 43
Хлорофилл 53
Хроматида 66
Хроматин 45
Хромосома 46
Хромосомная теория наследственности 118
Хромосомные болезни 133
Хромосомные мутации 127
Хромосомный набор гаплоидный 66
Хромосомный набор диплоидный 66

Центромера 66
Центры происхождения культурных растений 140

Цепь пищевая 186
Цикл биогеохимический 209
Цитозин 29
Цитология 38
Цитоплазма 42
Цитоплазматическая мембрана 39
Цитоскелет 44

Человек прямоходящий 278
Человек разумный 280
Человек умелый 278
Численность популяции 155
Чистые линии 111

Эволюционное учение 220
Эволюция 218
Экологическая изоляция 247
Экологические пирамиды 200
Экологический фактор 98
Экология 98
Экосистема 197
Электронный микроскоп 37
Эмбриональный период 95
Эндоплазматическая сеть 42
гранулярная 42
гладкая 42
Энергетический обмен 50
Эра геологическая 262
Эукариоты 48

Ядерная оболочка 46
Ядерный сок 46
Ядро клетки 44
Ядрышко 48
Яйцеклетка 84
Ярусность 170

Содержание

Школьнику об учебнике 3

Раздел I
ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ: КЛЕТКА, ОРГАНИЗМ

Введение. Живые системы — объект изучения биологии 6

Химический состав живого

§ 1. Химические элементы, составляющие живые системы 12
§ 2. Неорганические вещества — компоненты живого 14
§ 3. Органические вещества. Углеводы 18
§ 4. Белки 21
§ 5. Нуклеиновые кислоты 27
§ 6. Липиды. АТФ 31

Строение и функции клетки — элементарной живой системы

§ 7. Возникновение представлений о клетке. Клеточная теория 35
§ 8. Структура клетки 40
§ 9. Строение и функции ядра. Прокариоты и эукариоты 46
§ 10. Обмен веществ и превращение энергии — основные свойства живых систем 49
§ 11. Фотосинтез 51
§ 12. Обеспечение клетки энергией 56
§ 13. Синтез рибонуклеиновой кислоты (РНК) и белка 60
§ 14. Клеточный цикл 64
§ 15. Мейоз 68

Организм — целостная система

§ 16. Вирусы — неклеточная форма жизни 72
§ 17. Одноклеточные и многоклеточные организмы 76
§ 18. Размножение организмов. Бесполое размножение 79
§ 19. Образование и развитие половых клеток. Половое размножение животных 84
§ 20. Двойное оплодотворение у цветковых растений 90
§ 21. Индивидуальное развитие организмов 93
§ 22. Организм и среда его обитания 98

Раздел II
НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ — ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ОРГАНИЗМОВ

Основные закономерности наследственности и изменчивости

§ 23. Основные понятия генетики 106

§ 24. Моногибридное скрещивание. Закон доминирования 108
§ 25. Закон расщепления. Независимое наследование признаков при дигибридном скрещивании 114
§ 26. Хромосомная теория наследственности. Хромосомное определение пола организмов 118
§ 27. Формы изменчивости организмов 124

Генетика и практическая деятельность человека

§ 28. Генетика и медицина 130
§ 29. Генетика и селекция 136
§ 30. Исходный материал для селекции. Искусственный отбор 140
§ 31. Многообразие методов селекции 146

Раздел III
НАДОРГАНИЗМЕННЫЕ СИСТЕМЫ: ПОПУЛЯЦИИ, СООБЩЕСТВА, ЭКОСИСТЕМЫ

Популяции

§ 32. Основные свойства популяций 152
§ 33. Возрастная и половая структуры популяции 160
§ 34. Изменения численности популяций 165

Биологические сообщества

§ 35. Биоценоз, его структура и устойчивость 170
§ 36. Разнообразие биотических связей в сообществе 178
§ 37. Структура пищевых связей и их роль в сообществе 186
§ 38. Роль конкуренции в сообществе 192

Экосистемы

§ 39. Организация экосистем 198
§ 40. Развитие экосистем 203
§ 41. Биосфера — глобальная экосистема 206
§ 42. Устойчивость экосистем и проблемы охраны природы 212

Раздел IV
ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Эволюционное учение

§ 43. Додарвиновская научная картина мира 220
§ 44. Чарлз Дарвин и его учение 223
§ 45. Борьба за существование. Естественный и искусственный отбор 226
§ 46. Современные взгляды на факторы эволюции 230
§ 47. Приспособленность — результат эволюции 234
§ 48. Понятие вида в биологии 241
§ 49. Пути возникновения новых видов — видообразование 246
§ 50. Доказательства эволюции 251

Возникновение и историческое развитие жизни на Земле

§ 51. Биогенез и абиогенез 257
§ 52. Развитие жизни на Земле 261

Происхождение и эволюция человека

§ 53. Человек и приматы: сходство и различия 271
§ 54. Основные этапы эволюции человека 276
§ 55. Роль деятельности человека в биосфере 281

Темы исследований и проектной деятельности 286
Примерные темы рефератов 292
Литература 293
Интернет-ресурсы 295
Предметный указатель 296

Учебное издание

Ефимова Татьяна Михайловна, **Шубин** Андрей Олегович,
Сухорукова Людмила Николаевна

БИОЛОГИЯ
Основы общей биологии
9 класс
УЧЕБНИК
для общеобразовательных учреждений

Генеральный директор издательства *М. И. Безвиконная*
Главный редактор *К. И. Куровский*
Редактор *Е. В. Прохорова*
Иллюстрации, оформление и художественное редактирование: *Т. С. Богданова*
Технический редактор *О. Б. Резчикова*. Корректоры *В. Д. Васильева*, *Т. В. Пекичева*
Компьютерная вёрстка и графика *А. А. Борисенко*

Формат 70×90 $^1/_{16}$. Бумага офсетная № 1. Гарнитура «Школьная».
Печать офсетная. Усл. печ. л. 22,23. Тираж 5000 экз. Заказ № 30532 (Sm).

Издательство «Мнемозина». 105043, Москва, ул. 6-я Парковая, 29 б.
Тел.: 8 (499) 367 5418, 367 5627, 367 6781; факс: 8 (499) 165 9218.
E-mail: ioc@mnemozina.ru
www.mnemozina.ru

Магазин «Мнемозина»(розничная и мелкооптовая продажа книг,
«КНИГА — ПОЧТОЙ», ИНТЕРНЕТ-магазин).
105043, Москва, ул. 6-я Парковая, 29 б.
Тел./факс: 8 (495) 783 8284; тел.: 8 (495) 783 8285.
E-mail: magazin@mnemozina.ru
www.shop.mnemozina.ru

Торговый дом «Мнемозина» (оптовая продажа книг).
Тел./факс: 8 (495) 665 6031 (многоканальный).
E-mail: td@mnemozina.ru

Отпечатано в ОАО «Смоленский полиграфический комбинат».
214020, г. Смоленск, ул. Смольянинова, 1.