

А. А. Каменский, С. А. Криксунов,
В. В. Пасечник

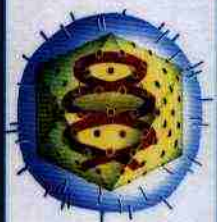
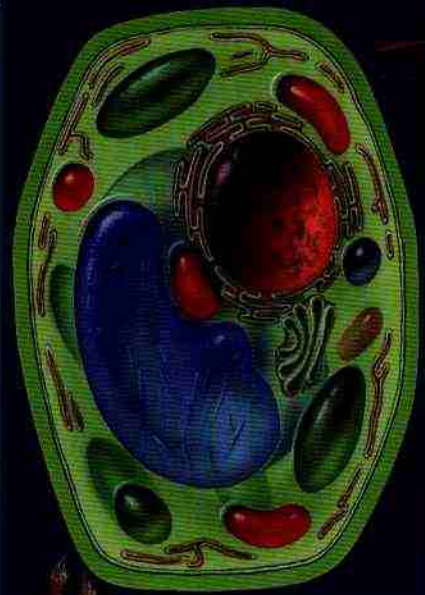
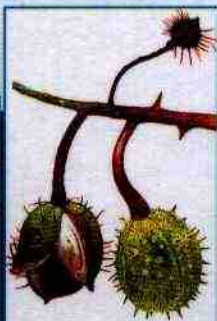
Биология

ВВЕДЕНИЕ В ОБЩУЮ БИОЛОГИЮ

И ЭКОЛОГИЮ



9



ПРОФ



А. А. Каменский, Е. А. Криксунов,
В. В. Пасечник

Биология

ВВЕДЕНИЕ В ОБЩУЮ БИОЛОГИЮ
И ЭКОЛОГИЮ



Учебник
для общеобразовательных
учреждений

■
Рекомендовано

*Министерством образования и науки
Российской Федерации*

14-е издание, стереотипное

Москва



ДРОФА

2013

Негосударственное
образовательное
учреждение средняя
общеобразовательная школа
"Экспресс"

УДК 373.167.1:57

ББК 20.1я72

К18

Каменский, А. А.

К18 Биология. Введение в общую биологию и экологию. 9 кл. : учеб. для общеобразоват. учреждений / А. А. Каменский, Е. А. Криксунов, В. В. Пасечник. — 14-е изд., стереотип. — М. : Дрофа, 2013. — 303, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-358-12396-0

Предлагаемый учебник входит в учебно-методический комплект по биологии для основной школы (5—9 классы), созданный на основе оригинальной авторской программы под руководством В. В. Пасечника.

УДК 373.167.1:57

ББК 20.1я72

Учебное издание

**Каменский Андрей Александрович,
Криксунов Евгений Аркадьевич, Пасечник Владимир Васильевич**

БИОЛОГИЯ

Введение в общую биологию и экологию

9 класс

Учебник для общеобразовательных учреждений

Редактор *М. В. Куликова*. Художественный редактор, оформление *М. Г. Мицкевич*. Художники *П. А. Жиличкин, Б. А. Гомон, О. И. Руновская*. Технический редактор *Н. И. Герасимова*. Сканирование и компьютерная обработка иллюстраций *Т. Ю. Губарь*. Компьютерная верстка *Г. М. Татарникова*. Корректор *Н. С. Соболева*. Цветоделение *А. Е. Косых, О. А. Молочков*.

В соответствии с Федеральным законом от 29.12.2010 г. № 436-ФЗ знак информационной продукции на данное издание не ставится

Сертификат соответствия
№ РОСС RU. АЕ51. Н 16238.



Подписано к печати 09.11.12. Формат 60 × 90^{1/16}. Бумага офсетная. Гарнитура «Школьная». Печать офсетная. Усл. печ. л. 19,0. Тираж 20 000 экз. Заказ № 4321.

ООО «Дрофа». 127018, Москва, Сушеvский вал, 49.

Предложения и замечания по содержанию и оформлению книги просим направлять в редакцию общего образования издательства «Дрофа»: 127018, Москва, а/я 79. Тел.: (495) 795-05-41. E-mail: chief@drofa.ru

По вопросам приобретения продукции издательства «Дрофа» обращаться по адресу: 127018, Москва, Сушеvский вал, 49. Тел.: (495) 795-05-50, 795-05-51. Факс: (495) 795-05-52.

Сайт ООО «Дрофа»: www.drofa.ru

Электронная почта: sales@drofa.ru

Тел.: 8-800-200-05-50 (звонок по России бесплатный)

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных издательством материалов в ОАО «Тверской ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинат детской литературы им. 50-летия СССР». 170040, г. Тверь, проспект 50 лет Октября, 46.

ISBN 978-5-358-12396-0

© ООО «Дрофа», 2000

Введение



Накопленные человечеством знания столь обширны, что ни один человек не способен усвоить их полностью. Но каждый из нас должен иметь четкое представление об окружающем его мире и законах, по которым он развивается. Без этих знаний человек не сможет чувствовать себя членом современного общества, оценивать состояние окружающей природы, частью которой он является, принимать правильные решения в повседневной жизни.

Содержание введения поможет вам:

- узнать, что изучает биология и как происходило ее становление как науки;
- познакомиться с методами, применяемыми в биологии;
- понять, чем живое отличается от неживого;
- уяснить роль биологических знаний в современном мире.

1. Биология — наука о жизни



1. Что изучает биология?
2. Какие биологические науки вам известны?
3. Каких ученых-биологов вы знаете?

Биология — наука о жизни. Она изучает живые организмы, их строение, развитие и происхождение, взаимоотношения со средой обитания и с другими живыми организмами.

Биология — одна из древнейших наук, хотя сам термин «биология» для ее обозначения был предложен лишь в 1797 г. немецким профессором *Т. Рузом* (1771—1803). Однако общепринятым этот термин стал после того, как в 1802 г. его стали употреблять в своих работах *Ж. Б. Ламарк* (1744—1829), *Л. К. Тревираниус* (1779—1864).

Знания о живых организмах человек накапливал на протяжении тысячелетий.

В наши дни биология — комплексная наука, сформировавшаяся в результате дифференциации и интеграции разных научных дисциплин.

Например, из ботаники выделились *микология* (наука о грибах), *бриология* (наука, изучающая мхи), *альгология* (изучающая водоросли), *палеоботаника* (изучающая остатки древних растений) и другие дисциплины.

Происходит дифференциация и в сравнительно молодых биологических науках. Так, генетика разделилась на *общую* и *молекулярную генетику*, *генетику растений*, *животных*, *микроорганизмов*, *человека*, *популяционную генетику* и т. д.

В результате интеграции наук возникли *биофизика*, *биохимия*, *радиобиология*, *космическая биология* и т. д.

Биологические знания не только позволяют составить научную картину мира, но и могут быть использованы в практических целях.

Так, связи биологических знаний с медициной и сельским хозяйством сформировались в далеком прошлом. А в наше время они приобрели еще большее значение.

Благодаря достижениям биологии промышленным путем получают медицинские препараты, витамины, биологически активные вещества. Открытия, сделанные в генетике, ана-

томии, физиологии и биохимии, позволяют поставить больному человеку правильный диагноз и выработать эффективные пути лечения и профилактики различных болезней, в том числе и тех, которые раньше считались неизлечимыми.

Благодаря знанию законов наследственности и изменчивости ученые-селекционеры получили новые высокопродуктивные породы домашних животных и сорта культурных растений. На основе изучения взаимоотношений между организмами созданы биологические методы борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур.

В настоящее время изучаются механизмы биосинтеза белка и фотосинтеза. Ученые надеются, что в будущем это позволит решить проблему промышленного получения ценных органических веществ.

Изучение строения и принципов работы различных систем живых организмов помогли найти оригинальные решения в технике и строительстве.

Благодаря достижениям биологии все большее значение приобретает новое направление материального производства — *биотехнология*. Уже сейчас она оказывает значительное влияние на решение таких глобальных проблем, как производство продуктов питания, поиск новых источников энергии, охрана окружающей среды и др.

До недавнего времени люди считали, что восстановительные способности природы безграничны. Но оказалось, что это не так. Незнание или игнорирование законов природы приводит к тяжелым экологическим катастрофам, которые грозят гибелью всем живым организмам, в том числе и человеку. Настало время, когда от каждого из нас зависит будущее нашей планеты, поэтому значение биологических знаний возрастает с каждым годом. Биологическая грамотность необходима каждому человеку — так же как умение читать, писать и считать.

*Биология. Биофизика. Биохимия. Микробиология.
Генетика. Радиобиология.*

?

1. Что изучает биология?
2. Почему современную биологию считают комплексной наукой?
3. Какова роль биологии в современном обществе?

2. Методы исследования в биологии



1. Что такое наука?
2. Какие биологические науки вам известны?
3. Какие методы исследования, применяемые в биологии, вы знаете?

Мы обычно говорим «научное знание», «научный факт», «научная картина мира». А в чем отличие научного знания от ненаучного? Какой факт можно считать научным?

Наука — один из способов изучения и познания окружающего мира. Биология помогает понять мир живой природы.

Мы уже знаем, что люди с древнейших времен изучают живую природу. Сначала они изучали отдельные организмы, собирали их, составляли списки растений и животных, населяющих разные места. Обычно этот период изучения живых организмов называют описательным, а саму дисциплину — *естественной историей*. Естественная история является предшественницей биологии.

Каждая наука имеет свои методы исследования. Однако независимо от того, какие методы используются, для каждого ученого важнейшим должен оставаться принцип «Ничего не принимай на веру». Это принцип отказа от слепого доверия к авторитету.

Научный метод — это совокупность приемов и операций, используемых при построении системы научных знаний.

В биологии применяются различные методы, к наиболее важным из них можно отнести *наблюдение, эксперимент и сравнение*.

Первоисточниками всех научных данных являются точное, внимательное, непредвзятое наблюдение и эксперимент.

Результаты, полученные в ходе наблюдений и экспериментов, должны быть проверены новыми наблюдениями и экспериментами. Только после этого их можно считать *научными фактами*.

Например, в средствах массовой информации неоднократно сообщалось о так называемом «снежном человеке», приводились рассказы очевидцев о встречах с ним, зарисов-

ки и фотографии якобы его следов и даже самого «снежного человека». Было организовано несколько экспедиций для поиска «снежного человека». Но до сих пор никто не смог представить ни живого «снежного человека», ни его останков, ни каких-то других неопровержимых доказательств его существования. Поэтому, несмотря на многочисленные свидетельства «очевидцев», существование «снежного человека» не может быть признано научным фактом.

Обычно научное исследование начинается с *наблюдения* над объектом или явлением. После обобщения полученных в результате данных выдвигаются *гипотезы* (предположения), которые могут объяснить наблюдения.

На следующем этапе исследования разрабатываются и проводятся *эксперименты* для проверки выдвинутых гипотез. Научный эксперимент должен непременно сопровождаться *контрольным опытом*, условия которого отличаются от условий эксперимента одним (и только одним) фактором. Анализ результатов эксперимента позволит решить, какая из гипотез верна.

Гипотеза, которая была проверена и оказалась соответствующей фактам и способной служить основой для верных предсказаний, может быть названа *теорией* или *законом*. Называя какое-либо положение законом, ученые как бы подчеркивают его универсальность, неоспоримость, большую достоверность. Однако часто термины «закон» и «теория» употребляются как равнозначные.

Рассмотрим этапы научного исследования на примере изучения условий, необходимых для прорастания семян.

Наблюдения за семенами показали, что они далеко не всегда прорастают. Очевидно, для их прорастания необходимы определенные условия.

Итак, мы можем сформулировать проблему исследования: «Какие условия необходимы для прорастания семян?»

Следующий этап — выдвижение гипотез. Мы можем предположить, что для прорастания семян необходимы свет, темнота, вода, определенная температура, воздух, почва.

Теперь, для того чтобы проверить, какие условия действительно необходимы для прорастания семян, разработаем и проведем эксперимент.

Возьмем шесть проб по 100 семян одного вида, например кукурузы, и поместим в условия, различающиеся только по одному признаку.

Сосуд с первой пробой поместим в светлое, теплое место. В сосуд нальем воды так, чтобы она до половины покрывала семена. В этом случае воздух будет свободно проникать к семенам.

Вторую пробу семян поместим в такие же условия, что и первую, но сосуд заполним кипяченой водой доверху, лишив таким образом семена воздуха.

Сосуд с третьей пробой поместим в такие же условия, что и первый, но в темном месте.

В четвертом сосуде оставим семена сухими.

Пятую пробу будем держать при температуре 1°C .

Шестой сосуд заполним влажной почвой и поставим в теплое место.

Проанализировав результаты эксперимента, мы придем к выводу, что свет и почва не являются обязательными условиями для прорастания семян. Семена кукурузы прорастают при наличии воды, воздуха и определенной температуры. Однако если мы внимательно рассмотрим наши пробы, то увидим, что и при благоприятных условиях не все семена проросли. Изучив эти семена, мы выясним, что их зародыш мертв. Следовательно, прорасти могут только семена с живым зародышем.

Если вы будете сравнивать условия, необходимые для прорастания семян растений разных видов, то убедитесь, что они сильно различаются. Например, для прорастания зерновок кукурузы воды потребуется в два раза меньше их собственной массы, а для прорастания клевера воды должно быть в полтора раза больше массы семян. В то же время семена клевера прорастают уже при температуре 1°C , кукурузы — при температуре выше 8°C , а для семян дыни температура прорастания будет составлять 15°C . Вы установите, кроме того, что большинство семян прорастает как на свету, так и в темноте, но есть растения (например, табак, череда), для прорастания семян которых свет необходим. Напротив, семена рыжика мелкоплодного прорастают только в темноте.

Итак, даже самое простое научное исследование требует четко продуманного и тщательно проведенного эксперимента, на основании которого можно сделать научно достоверные выводы. При проведении наблюдений и экспериментов применяют самые современные приборы, аппаратуру, инструменты — электронные микроскопы, радиолокаторы, хроматографы и др.

Жизнь удивительно многообразна. Чтобы разобраться в этом многообразии, необходимо выявить и упорядочить сходство и различия у живых организмов. Для решения этих задач применяется *сравнительный метод*. Он позволяет сопоставить результаты наблюдений для выявления общих закономерностей.

Биологи используют и другие методы исследования. Например, *описательный метод* широко применялся еще учеными древности, но не потерял своего значения и сегодня.

Исторический метод помогает осмыслить полученные факты, сопоставив их с ранее известными результатами.

В науке любые новые открытия способствуют устранению прежних неправильных представлений и указывают на новые взаимосвязи между явлениями. В биологии новые открытия создают базу для множества практических достижений в медицине, сельском хозяйстве, промышленности и других областях человеческой деятельности.

Многие считают, что следует заниматься только теми биологическими исследованиями, которые помогут решить конкретные практические проблемы сегодняшнего дня. Безусловно, развитие прикладных наук имеет очень важное значение, но нельзя забывать о важности исследований в «чистой» науке. Знания, полученные в фундаментальных исследованиях, могут показаться бесполезными для повседневной жизни человека, но они помогают понять законы, по которым развивается окружающий нас мир, и почти наверняка рано или поздно найдут практическое применение.

*Научное исследование. Научный факт. Наблюдение.
Гипотеза. Эксперимент. Закон. Теория.*

?

1. Какова основная цель науки?
2. Что такое научный метод? В чем его основной принцип?
3. Что такое научный эксперимент?
4. Какой факт может считаться научным?
5. Чем гипотеза отличается от закона или теории?
6. Какова роль прикладных и фундаментальных исследований в науке?

3. Сущность жизни и свойства живого



-
1. Какие живые организмы вы знаете?
 2. Чем живые организмы отличаются от неживых?
 3. Какие свойства живого вам известны?
-

Обычное определение биологии как «науки о жизни» имеет смысл лишь в том случае, если мы представляем себе, что такое жизнь.

На первый взгляд все кажется просто. Даже маленький ребенок скажет, что камень неживой, а кошка живая. На самом деле дать определение жизни очень сложно.

Во второй половине XIX в. *Ф. Энгельс*, обобщив естественнонаучные знания своего времени, дал самое известное определение жизни: это способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их природой, причем с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь, что приводит к разложению белков.

Последующие открытия в биологии показали, что данное определение не раскрывает всей сущности жизни. Попытки современных ученых дать полное определение жизни также не увенчались успехом. Дело в том, что живые организмы обладают рядом признаков, отсутствующих у большинства неживых систем, но среди этих признаков нет ни одного такого, который был бы присущ только живому. Например, для живых организмов характерен рост, но ведь и кристаллы растут! Поэтому проще всего дать определение жизни, перечислив основные свойства живых организмов.

1. Живые организмы имеют сходный химический состав и единый принцип строения.

Живые организмы «построены» из тех же химических элементов, что и объекты неживой природы. Однако соотношение их в живом и неживом различно. Живые организмы на 98% состоят из четырех элементов — углерода, кислорода, азота и водорода, которые участвуют в образовании сложных органических молекул (белки, нуклеиновые кислоты, углеводы, жиры).

Все живые организмы имеют клеточное строение. Клетка является единой структурно-функциональной единицей, а также единицей развития всех живых организмов на Земле.

2. Все живые организмы представляют собой «открытые системы», т. е. устойчивые лишь при условии непрерывного поступления в них энергии и вещества из окружающей среды.

Зеленые растения используют солнечную энергию для синтеза органических веществ, из которых строится их тело. Другие организмы получают энергию в результате распада сложных органических веществ пищи на более простые.

Таким образом, живые организмы существуют до тех пор, пока в них поступают энергия (солнечная или химическая) и питательные вещества извне.

3. Все живые организмы способны к обмену веществ с окружающей средой: из нее они получают вещества, необходимые для жизни, а в нее выделяют продукты жизнедеятельности.

В неживой природе можно наблюдать, казалось бы, сходные процессы. Так, пламя костра или свечи никто не назовет живым. Однако в процессе горения поглощаются органические вещества (дрова, воск) и кислород воздуха, а выделяются углекислый газ и другие вещества. В основе работы многих механизмов, созданных человеком, также лежат «обменные процессы».

В отличие от обменных процессов в неживой природе у живых организмов самыми важными стали процессы синтеза и распада.

Обмен веществ обеспечивает постоянство химического состава и строения организма, его рост, размножение и существование в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды.

4. Живые организмы реагируют на изменение факторов окружающей их среды.

В процессе эволюции у живых организмов выработалась способность избирательно реагировать на внешние воздействия. У одних реакции проявляются быстро (например, животные убегают, нападают, прячутся, сжимаются и т. д.), у других — медленно (например, растения поворачивают листья к свету).

5. *Живые организмы развиваются.*

Развитие характерно как для живой, так и для неживой материи. Но живым организмам свойственно упорядоченное, постепенное и последовательное развитие. У каждого живого организма развитие связано с реализацией наследственной программы и обычно сопровождается увеличением его массы. Последнее происходит за счет образования новых молекул, элементарных клеточных структур и самих клеток.

Развитие характерно не только для отдельного организма, но и для живой природы в целом. В результате исторического развития, или эволюции, появилось все многообразие живых организмов на нашей планете.

6. *Все живое размножается.*

Новые организмы — от бактерии до человека — возникают только в результате бесполого или полового размножения особей данного вида.

7. *Все живые организмы обладают наследственностью и изменчивостью.*

Наследственность — способность организмов передавать свои признаки, свойства и особенности развития из поколения в поколение. Информация о том, каким должен быть организм, закодирована в его генетическом материале — хромосомах.

Хотя потомки похожи на родителей, двух совершенно одинаковых организмов не существует. Это объясняется тем, что в генетическом материале происходят случайные изменения, приводящие к появлению у организма новых признаков и свойств.

Изменчивость создает разнообразный материал для отбора наиболее приспособленных к конкретным условиям особей, а это, в свою очередь, приводит к появлению новых видов организмов.

8. *Живые организмы приспособлены к определенной среде обитания.*

Даже по внешнему виду часто можно определить, какой образ жизни ведет данный организм. Например, вы сразу отличите хищную птицу от зерноядной, влаголюбивые растения от растений пустынь.

Таким образом, живые организмы резко отличаются от неживых систем сложностью строения и высокой упо-

рядоченностью протекающих в них физиологических процессов. Эти отличия придают жизни качественно новые свойства.

*Жизнь. Обмен веществ. Процессы синтеза и распада.
«Открытая система». Размножение.
Наследственность. Изменчивость. Развитие.*

?

1. Почему очень сложно дать определение понятию «жизнь»?
2. В чем различие химической организации живых организмов и объектов неживой природы?
3. Почему живые организмы называют «открытыми системами»?
4. Чем различаются процессы обмена у живых организмов и в неживой природе?
5. Какова роль изменчивости и наследственности в развитии жизни на нашей планете?

Краткое содержание вводного раздела

Биология — наука о жизни — одна из древнейших наук. Знания о живых организмах человек накапливал на протяжении тысячелетий. По мере накопления знаний происходила дифференциация биологии на самостоятельные науки (ботаника, зоология, микробиология, генетика и др.). Все больше возрастает значение пограничных дисциплин, связывающих биологию с другими науками — физикой, химией, математикой и др. В результате интеграции возникли биофизика, биохимия, космическая биология и др.

В настоящее время биология — комплексная наука, сформировавшаяся в результате дифференциации и интеграции разных дисциплин.

В биологии применяются различные методы исследования: наблюдение, эксперимент, сравнение и др.

Биология изучает живые организмы. Они являются «открытыми системами», получающими энергию и питательные вещества из окружающей среды. Живые организмы реагируют на внешние воздействия, содержат всю информацию, необходимую им для развития и размножения, и приспособлены к определенной среде обитания.

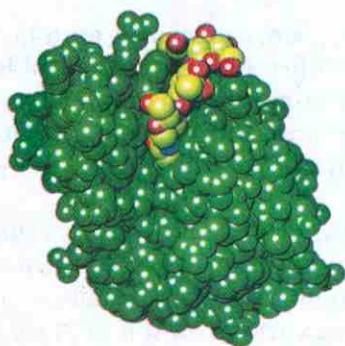
1. Уровни организации живой природы

Вся живая природа представляет собой совокупность биологических систем (от греч. *systema* — целое, состоящее из взаимосвязанных частей) разного уровня организации и различной соподчиненности.

Ученые выделяют несколько уровней организации живой природы: *молекулярный, клеточный, организменный, популяционно-видовой, экосистемный* и *биосферный*. Всем живым системам, независимо от уровня организации, присущи общие черты, а сами системы находятся в непрерывном взаимодействии.

Изучение уровней организации биологических систем дает возможность теоретически представить, как могли возникнуть первые живые организмы и как происходил на Земле процесс эволюции от простейших систем к системам более сложным и высокоорганизованным. Для того чтобы понять это, необходимо познакомиться с особенностями живых систем на каждом уровне организации.

Молекулярный уровень



Из этой главы вы узнаете:

- *что такое биополимеры;*
 - *какое строение имеют биомолекулы;*
 - *какие функции выполняют биомолекулы;*
 - *что такое вирусы и в чем их особенность.*
-

1.1. Молекулярный уровень: общая характеристика



1. Что такое химический элемент?
2. Что называется атомом и молекулой?
3. Какие органические вещества вам известны?

Любая живая система, как бы сложно она ни была организована, проявляется на уровне функционирования биологических макромолекул.

Молекулярный уровень можно назвать начальным, наиболее глубинным уровнем организации живого. Каждый живой организм состоит из молекул органических веществ — белков, нуклеиновых кислот, углеводов, жиров (липидов), находящихся в клетках и получивших название биологических молекул.

Биологи исследуют роль этих важнейших биологических соединений в росте и развитии организмов, хранении и передаче наследственной информации, обмене веществ и превращении энергии в живых клетках и в других процессах.

Изучая живые организмы, вы узнали, что они состоят из тех же химических элементов, что и неживые. В настоящее время известно более 100 элементов, большинство из них встречается в живых организмах. К самым распространенным в живой природе элементам следует отнести углерод, кислород, водород и азот.

Основой всех органических соединений служит углерод. Он может вступать в связь со многими атомами и их группами, образуя цепочки, различные по химическому составу, строению, длине и форме. Из групп атомов образуются молекулы, а из последних — сложные химические соединения, различающиеся по строению и функциям. Эти органические соединения, входящие в состав клеток живых организмов, получили название *биологические полимеры*, или *биополимеры*.

Полимер (от греч. *polýs* — многочисленный) — цепь, состоящая из многочисленных звеньев — *мономеров*, каждый из которых устроен относительно просто. Молекула полимера может состоять из многих тысяч соединенных между собой мономеров, которые могут быть одинаковыми или разными (рис. 1).

Свойства биополимеров зависят от строения их молекул: от числа и разнообразия мономерных звеньев, образующих полимер. Все они универсальны, так как построены по одному плану у всех живых организмов, независимо от видовой принадлежности.

Для каждого вида биополимеров характерны определенное строение и функции. Так, молекулы белков являются основными структурными элементами клеток и регулируют протекающие в них процессы.

Нуклеиновые кислоты участвуют в передаче генетической (наследственной) информации от клетки к клетке, от организма к организму. Изучая основы генетики, вы узнаете, что генетический код универсален, т. е. одинаков для всех живых организмов.

Углеводы и жиры представляют собой важнейшие источники энергии, необходимой для жизнедеятельности организмов.

Именно на молекулярном уровне происходит превращение всех видов энергии и обмен веществ в клетке. Механизмы этих процессов также универсальны для всех живых организмов.

В то же время оказалось, что разнообразные свойства биополимеров, входящих в состав всех организмов, обусловлены различными сочетаниями всего лишь нескольких типов мономеров, образующих множество вариантов длинных полимерных цепей. Этот принцип лежит в основе многообразия жизни на нашей планете.

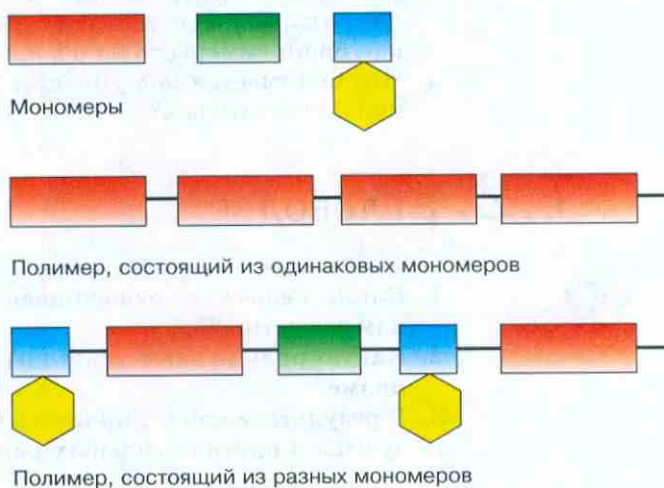


Рис. 1. Схема строения мономеров и полимеров

Специфические свойства биополимеров проявляются только в живой клетке. Выделенные из клеток, молекулы биополимеров теряют биологическую сущность и характеризуются лишь физико-химическими свойствами того класса соединений, к которому они относятся. Другими словами, в изолированном виде молекулы биополимеров являются неживыми.

Только изучив молекулярный уровень, можно понять, как протекали процессы зарождения и эволюции жизни на нашей планете, каковы молекулярные основы наследственности и процессов обмена веществ в живом организме.

Преимственность между молекулярным и следующим за ним клеточным уровнем обеспечивается тем, что биологические молекулы — это тот материал, из которого образуются надмолекулярные — клеточные — структуры.

Биологическая система. Уровни организации: молекулярный, клеточный, организменный, популяционно-видовой, экосистемный, биосферный. Органические вещества: белки, нуклеиновые кислоты, углеводы, жиры (липиды). Биополимеры. Мономеры.



1. Какие процессы исследуют ученые на молекулярном уровне?
2. Какие элементы преобладают в составе живых организмов?
3. Почему молекулы белков, нуклеиновых кислот, углеводов и липидов рассматриваются как биополимеры только в клетке?
4. Что понимается под универсальностью молекул биополимеров?

1.2. Углеводы



1. Какие вещества, относящиеся к углеводам, вам известны?
2. Какую роль играют углеводы в живом организме?
3. В результате какого процесса углеводы образуются в клетках зеленых растений?

Углеводы, или **сахариды**, — одна из основных групп органических соединений. Они входят в состав клеток всех живых организмов.

Углеводы состоят из углерода, водорода и кислорода. Название «углеводы» они получили потому, что у большинства из них соотношение водорода и кислорода в молекуле такое же, как и в молекуле воды. Общая формула углеводов $C_n(H_2O)_m$. Примерами углеводов могут служить глюкоза ($C_6H_{12}O_6$) и сахароза, или тростниковый сахар ($C_{12}H_{22}O_{11}$). В состав производных углеводов могут входить и другие элементы. Все углеводы делятся на простые, или **моносахариды**, и сложные, или **полисахариды** (рис. 2). Из моносахаридов наибольшее значение для живых организмов имеют *рибоза*, *дезоксирибоза*, *глюкоза*, *фруктоза*, *галактоза*.

Ди- и **полисахариды** образуются путем соединения двух и более молекул моносахаридов. Так, *сахароза* (тростниковый сахар), *мальтоза* (солодовый сахар), *лактоза* (молочный сахар) — **дисахариды**, образовавшиеся в результате слияния двух молекул моносахаридов. Дисахариды по своим свойствам близки к моносахаридам. Например, и те и другие хорошо растворимы в воде и имеют сладкий вкус.

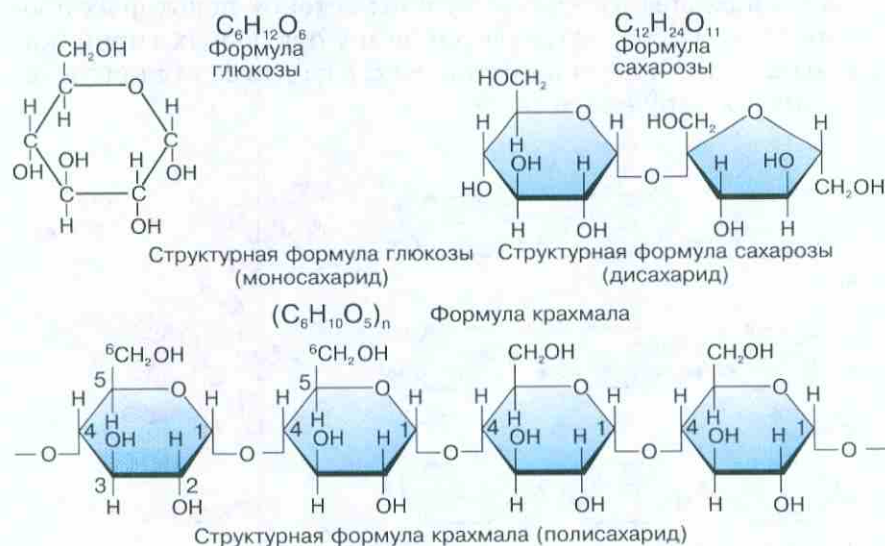


Рис. 2. Строение молекул простых и сложных углеводов

Полисахариды состоят из большого числа моносахаридов. К ним относятся *крахмал, гликоген, целлюлоза, хитин* и др. (рис. 3). С увеличением количества мономеров растворимость полисахаридов уменьшается и сладкий вкус исчезает.

Основная функция углеводов — *энергетическая*. При расщеплении и окислении молекул углеводов выделяется энергия, которая обеспечивает жизнедеятельность организма. При избытке углеводов они накапливаются в клетке в качестве запасных веществ (крахмал, гликоген) и при необходимости используются организмом в качестве источника энергии. Усиленное расщепление углеводов в клетках можно наблюдать, например, при прорастании семян, интенсивной мышечной работе, длительном голодании.

Углеводы используют и в качестве *строительного материала*. Так, целлюлоза является важным структурным компонентом клеточных стенок многих одноклеточных, грибов и растений. Благодаря особому строению целлюлоза нерастворима в воде и обладает высокой прочностью. В среднем 20—40% материала клеточных стенок растений составляет целлюлоза, а волокна хлопка — почти чистая целлюлоза, и именно поэтому они используются для изготовления тканей.

Хитин входит в состав клеточных стенок некоторых простейших и грибов, встречается он и у отдельных групп животных, например у членистоногих, в качестве важного компонента их наружного скелета.

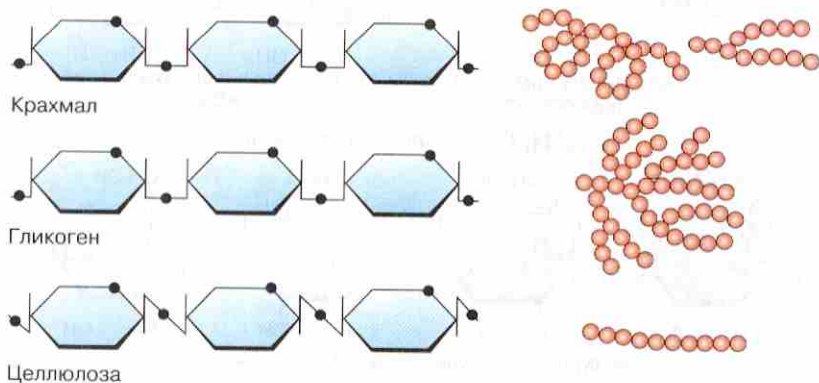


Рис. 3. Схема строения полисахаридов

Известны также сложные полисахариды, состоящие из двух типов простых сахаров, которые регулярно чередуются в длинных цепях. Такие полисахариды выполняют структурные функции в опорных тканях животных. Они входят в состав межклеточного вещества кожи, сухожилий, хрящей, придавая им прочность и эластичность.

Некоторые полисахариды входят в состав клеточных мембран и служат рецепторами, обеспечивая узнавание клетками друг друга и их взаимодействие.

Углеводы, или сахариды. Моносахариды.

Дисахариды. Полисахариды. Рибоза.

Дезоксирибоза. Глюкоза. Фруктоза.

Галактоза. Сахароза. Мальтоза. Лактоза.

Крахмал. Гликоген. Хитин.

?

1. Какой состав и строение имеют молекулы углеводов?
2. Какие углеводы называются моно-, ди- и полисахаридами?
3. Какие функции выполняют углеводы в живых организмах?

1.3. Липиды



1. Какие жироподобные вещества вам известны?
2. Какие продукты питания богаты жирами?
3. Какова роль жиров в организме?

Липиды (от греч. *lipos* — жир) — обширная группа жироподобных веществ, нерастворимых в воде. Большинство липидов состоит из высокомолекулярных жирных кислот и трехатомного спирта глицерина (рис. 4).

Содержание липидов в разных клетках сильно варьирует: от 2—3 до 50—90% в клетках семян некоторых растений и жировой ткани животных.

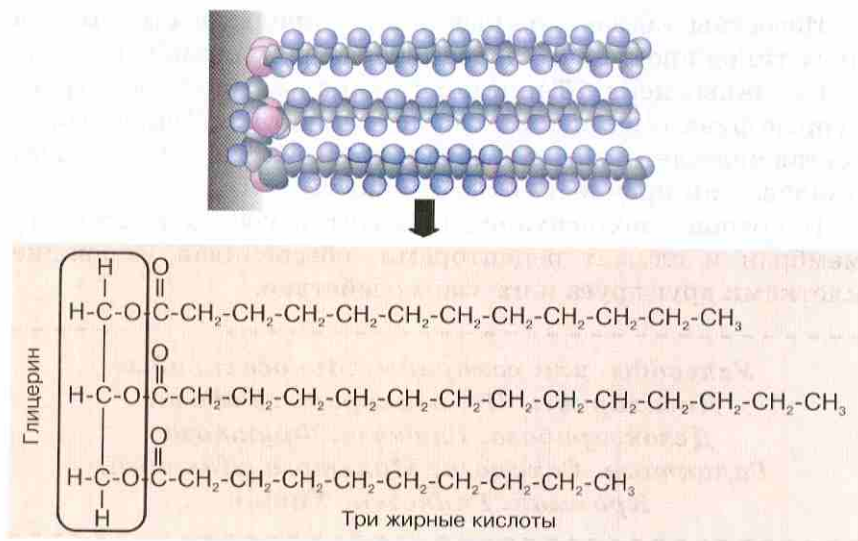


Рис. 4. Структура молекулы триглицерида

Липиды присутствуют во всех без исключения клетках, выполняя специфические биологические функции.

Жиры — наиболее простые и широко распространенные липиды — играют важную роль как *источник энергии*. При окислении они дают более чем в два раза больше энергии по сравнению с углеводами.

Жиры являются основной формой *запасания липидов* в клетке. У позвоночных животных примерно половина энергии, потребляемой клетками в состоянии покоя, образуется за счет окисления жиров. Жиры могут использоваться также в качестве источника воды (при окислении 1 г жира образуется более 1 г воды). Это особенно ценно для арктических и пустынных животных, обитающих в условиях дефицита свободной воды.

Благодаря низкой теплопроводности липиды выполняют *защитные функции*, т. е. служат для теплоизоляции организмов. Например, у многих позвоночных животных хорошо выражен подкожный жировой слой, что позволяет им жить в условиях холодного климата, а у китообразных он играет еще и другую роль — способствует плавучести.

Липиды выполняют и *строительную функцию*, так как нерастворимость в воде делает их важнейшими компонентами клеточных мембран.

Многие *гормоны* (например, коры надпочечников, половые) являются производными липидов. Следовательно, липидам присуща *регуляторная функция*.

*Липиды. Жиры. Гормоны.
Функции липидов: энергетическая,
запасующая, защитная,
строительная, регуляторная.*

?

1. Какие вещества относятся к липидам?
2. Какое строение имеет большинство липидов?
3. Какие функции выполняют липиды?
4. Какие клетки и ткани наиболее богаты липидами?

1.4. Состав и строение белков



1. Какова роль белков в организме?
 2. Какие продукты богаты белками?
-

Среди органических веществ *белки*, или *протеины*, — самые многочисленные, наиболее разнообразные и имеющие первостепенное значение биополимеры. На их долю приходится 50—80% сухой массы клетки.

Молекулы белков имеют большие размеры, поэтому их называют *макромолекулами*. Кроме углерода, кислорода, водорода и азота, в состав белков могут входить сера, фосфор и железо. Белки отличаются друг от друга числом (от ста до нескольких тысяч), составом и последовательностью мономеров. Мономерами белков являются аминокислоты (рис. 5).

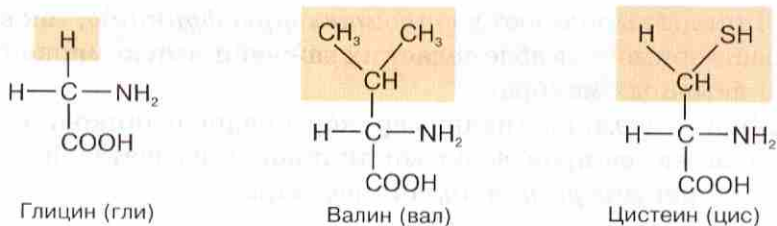
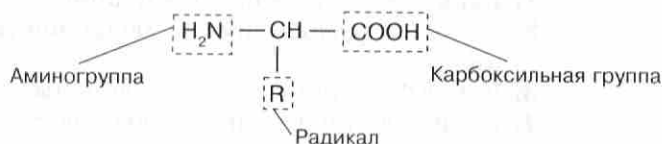
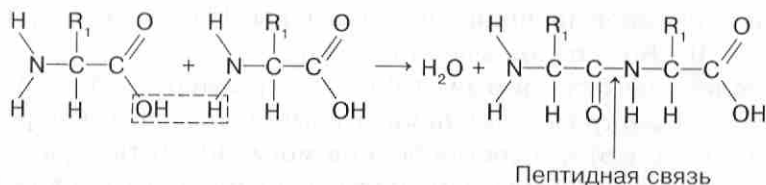


Рис. 5. Примеры строения аминокислот — мономеров белковых молекул (желтым цветом обозначен радикал)

Бесконечное разнообразие белков создается за счет различного сочетания всего 20 аминокислот. Каждая аминокислота имеет свое название, особое строение и свойства. Их общую формулу можно представить в следующем виде:



Молекула аминокислоты состоит из двух одинаковых для всех аминокислот частей, одна из которых является аминогруппой ($-\text{NH}_2$) с основными свойствами, другая — карбоксильной группой ($-\text{COOH}$) с кислотными свойствами. Часть молекулы, называемая радикалом (R), у разных аминокислот имеет различное строение. Наличие в одной молекуле аминокислоты основной и кислотной групп обуславливает их высокую реакционную способность. Через эти группы происходит соединение аминокислот при образовании белка. При этом возникает молекула воды, а освободившиеся электроны образуют пептидную связь. Поэтому белки называют *полипептидами*.



Молекулы белков могут иметь различные пространственные конфигурации, и в их строении различают четыре уровня структурной организации (рис. 6).

Последовательность аминокислот в составе полипептидной цепи представляет *первичную структуру* белка. Она уникальна для любого белка и определяет его форму, свойства и функции.

Большинство белков имеют вид спирали в результате образования водородных связей между $-\text{CO}-$ и $-\text{NH}-$ группами разных аминокислотных остатков полипептидной цепи. Водородные связи малопрочные, но в комплексе они обеспечивают довольно прочную структуру. Эта спираль — *вторичная структура* белка.

Третичная структура — трехмерная пространственная «упаковка» полипептидной цепи. В результате возникает причудливая, но для каждого белка специфическая конфигурация — *глобула*. Прочность третичной структуры обеспечивается разнообразными связями, возникающими между радикалами аминокислот.

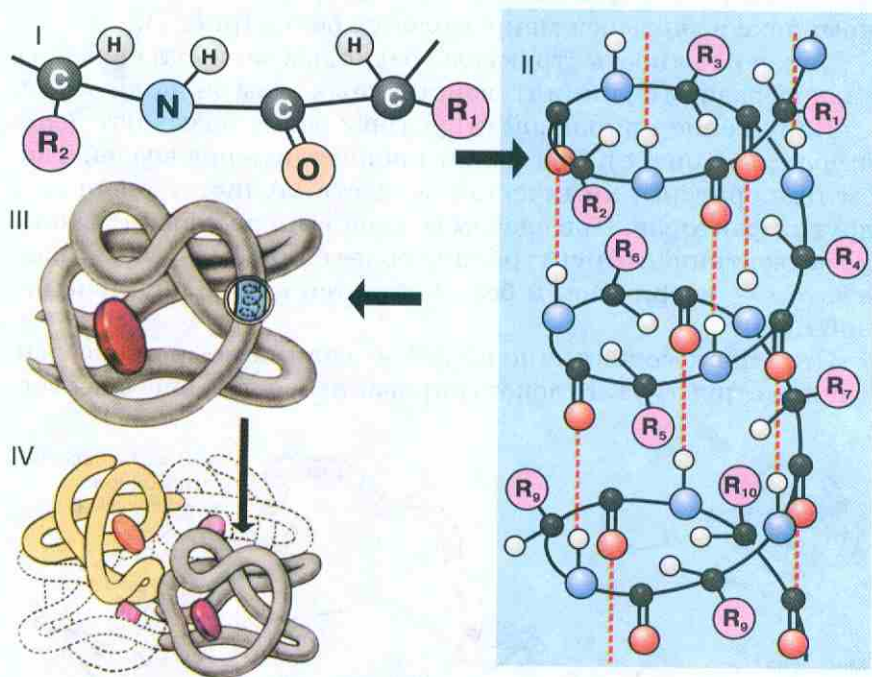


Рис. 6. Схема строения белковой молекулы: I, II, III, IV — первичная, вторичная, третичная, четвертичная структуры

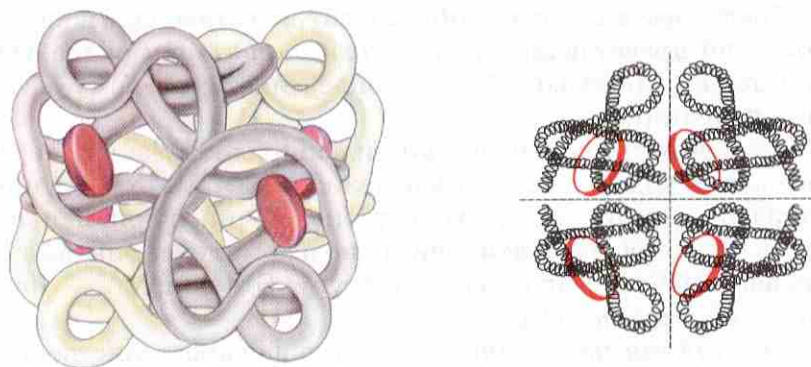


Рис. 7. Схема строения молекулы гемоглобина

Четвертичная структура характерна не для всех белков. Она возникает в результате соединения нескольких макромолекул с третичной структурой в сложный комплекс. Например, гемоглобин крови человека представляет комплекс из четырех макромолекул белка (рис. 7).

Такая сложность структуры белковых молекул связана с разнообразием функций, свойственных этим биополимерам.

Нарушение природной структуры белка называют *денатурацией* (рис. 8). Она может происходить под воздействием температуры, химических веществ, лучистой энергии и других факторов. При слабом воздействии распадается только четвертичная структура, при более сильном — третичная, а затем — вторичная, и белок остается в виде полипептидной цепи.

Этот процесс частично обратим: если не разрушена первичная структура, то денатурированный белок способен вос-

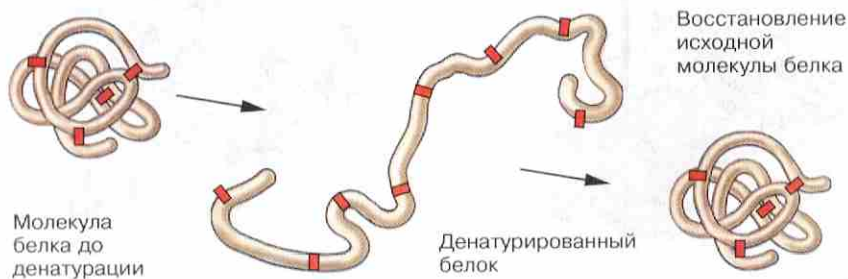


Рис. 8. Денатурация белка

становливать свою структуру. Отсюда следует, что все особенности строения макромолекулы белка определяются его первичной структурой.

Кроме *простых белков*, состоящих только из аминокислот, есть еще и *сложные белки*, в состав которых могут входить углеводы (*гликопротеины*), жиры (*липопротеины*), нуклеиновые кислоты (*нуклеопротеины*) и др.

Роль белков в жизни клетки огромна. Современная биология показала, что сходство и различие организмов определяется в конечном счете набором белков. Чем ближе организмы друг к другу в систематическом положении, тем более сходны их белки.

*Белки, или протеины. Простые и сложные белки.
Аминокислоты. Полипептид.
Первичная, вторичная, третичная
и четвертичная структуры белков.*

?

1. Какие вещества называются белками, или протеинами?
2. Что такое первичная структура белка?
3. Как образуются вторичная, третичная и четвертичная структуры белка?
4. Что такое денатурация белка?
5. По какому признаку белки делятся на простые и сложные?

1.5. Функции белков



1. Какова функция углеводов?
2. Какие функции белков вы знаете?

Белки выполняют чрезвычайно важные и многообразные функции. Это возможно в значительной мере благодаря разнообразию форм и состава самих белков.

Одна из важнейших функций белковых молекул — *строительная (пластическая)*. Белки входят в состав всех клеточных мембран и органоидов клетки. Преимущественно из

белка состоят стенки кровеносных сосудов, хрящи, сухожилия, волосы и ногти.

Громадное значение имеет *каталитическая, или ферментативная, функция белков*. Специальные белки — *ферменты* способны ускорять биохимические реакции в клетке в десятки и сотни миллионов раз. Известно около тысячи ферментов. Каждая реакция катализируется своим особым ферментом. Подробнее вы узнаете об этом ниже.

Двигательную функцию выполняют особые сократительные белки. Благодаря им двигаются реснички и жгутики у простейших, перемещаются хромосомы при делении клетки, сокращаются мышцы у многоклеточных, совершенствуются другие виды движения у живых организмов.

Важное значение имеет *транспортная функция* белков. Так, гемоглобин переносит кислород из легких к клеткам других тканей и органов. В мышцах эту функцию выполняет белок миоглобин. Белки сыворотки крови способствуют переносу липидов и жирных кислот, различных биологически активных веществ. Транспортные белки в наружной мембране клеток переносят различные вещества из окружающей среды в цитоплазму.

Специфические белки выполняют *защитную функцию*. Они предохраняют организм от вторжения чужеродных белков и микроорганизмов и от повреждения. Так, антитела, вырабатываемые лимфоцитами, блокируют чужеродные белки; фибрин и тромбин предохраняют организм от кровопотери.

Регуляторная функция присуща белкам — *гормонам*. Они поддерживают постоянные концентрации веществ в крови и клетках, участвуют в росте, размножении и других жизненно важных процессах. Например, инсулин регулирует содержание сахара в крови.

Белкам присуща также *сигнальная функция*. В мембрану клетки встроены белки, способные изменять свою третичную структуру в ответ на действие факторов внешней среды. Так происходит прием сигналов из внешней среды и передача информации в клетку.

Белки могут выполнять *энергетическую функцию*, являясь одним из источников энергии в клетке. При полном расщеплении 1 г белка до конечных продуктов выделяется

17,6 кДж энергии. Однако в качестве источника энергии белки используются крайне редко. Аминокислоты, высвобождающиеся при расщеплении белковых молекул, используются для построения новых белков.

Функции белков: строительная, двигательная, транспортная, защитная, регуляторная, сигнальная, энергетическая, каталитическая.

Гормон. Фермент.

?

1. Чем объясняется многообразие функций белков?
2. Какие функции белков вам известны?
3. Какую роль играют белки-гормоны?
4. Какую функцию выполняют белки-ферменты?
5. Почему белки редко используются в качестве источника энергии?

1.6. Нуклеиновые кислоты



1. Какова роль ядра в клетке?
2. С какими органоидами клетки связана передача наследственных признаков?
3. Какие вещества называются кислотами?

Нуклеиновые кислоты (от лат. *nucleus* — ядро) впервые были обнаружены в ядрах лейкоцитов. Впоследствии было выяснено, что нуклеиновые кислоты содержатся во всех клетках, причем не только в ядре, но также в цитоплазме и различных органоидах.

Различают два типа нуклеиновых кислот — *дезоксирибонуклеиновые* (сокращенно *ДНК*) и *рибонуклеиновые* (*РНК*). Различие в названиях объясняется тем, что молекула *ДНК* содержит углевод *дезоксирибозу*, а молекула *РНК* — *рибозу*.

Нуклеиновые кислоты — биополимеры, состоящие из *номеров-нуклеотидов*. Мономеры-нуклеотиды *ДНК* и *РНК* имеют сходное строение.

Каждый нуклеотид состоит из трех компонентов, соединенных прочными химическими связями. Это *азотистое основание*, *углевод* (рибоза или дезоксирибоза) и *остаток фосфорной кислоты* (рис. 9).

В состав *молекулы ДНК* входят четыре типа азотистых оснований: *аденин*, *гуанин*, *цитозин* или *тимин*. Они и определяют названия соответствующих нуклеотидов: адениловый (А), гуаниловый (Г), цитидиловый (Ц) и тимидиловый (Т) (рис. 10).

Каждая цепь ДНК представляет полинуклеотид, состоящий из нескольких десятков тысяч нуклеотидов.

Молекула ДНК имеет сложное строение. Она состоит из двух спирально закрученных цепей, которые по всей длине соединены друг с другом водородными связями. Такую структуру, свойственную только молекулам ДНК, называют *двойной спиралью*.

При образовании двойной спирали ДНК азотистые основания одной цепи располагаются в строго определенном порядке против азотистых оснований другой. При этом обнаруживается важная закономерность: против аденина одной цепи всегда располагается тимин другой цепи, против гуанина — цитозин, и наоборот. Это объясняется тем, что пары нуклеотидов аденин и тимин, а также гуанин и цитозин строго соответствуют друг другу и являются дополнительными, или *комплементарными* (от лат. complementum — дополнение), друг другу. Между аденином и тиминном всегда

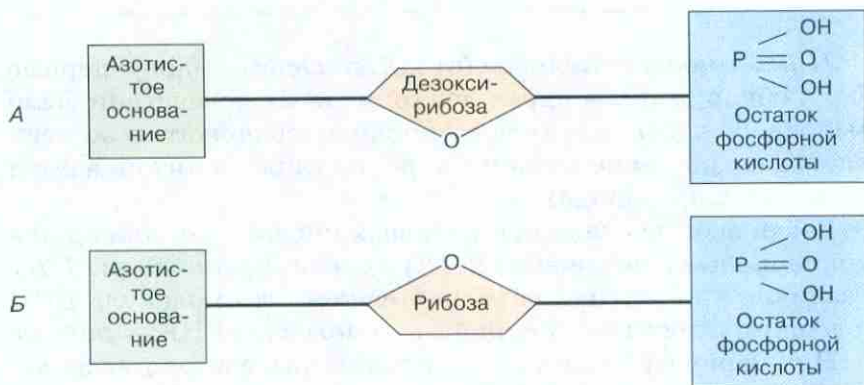


Рис. 9. Схема строения нуклеотидов — мономеров ДНК (А) и РНК (Б)

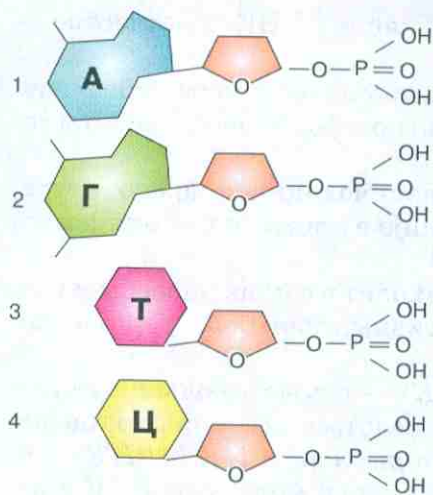


Рис. 10. Четыре нуклеотида, из которых построены все ДНК живой природы

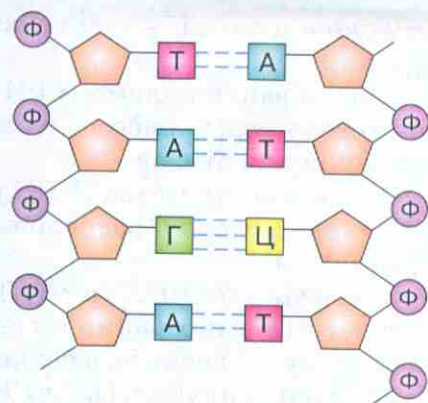


Рис. 11. Комплементарное соединение нуклеотидов и образование двухцепочечной молекулы ДНК

возникают две, а между гуанином и цитозином — три водородные связи (рис. 11).

Следовательно, у всякого организма число адениловых нуклеотидов равно числу тимидиловых, а число гуаниловых — числу цитидиловых. Зная последовательность нуклеотидов в одной цепи ДНК, по принципу комплементарности можно установить порядок нуклеотидов другой цепи.

С помощью четырех типов нуклеотидов в ДНК записана вся важная информация об организме, передающаяся по наследству следующим поколениям. Другими словами, ДНК является носителем наследственной информации.

Молекулы ДНК в основном находятся в ядрах клеток, но небольшое их количество содержится в митохондриях и пластидах.

Молекула РНК, в отличие от молекулы ДНК, — полимер, состоящий из одной цепочки значительно меньших размеров.

Мономерами РНК являются нуклеотиды, состоящие из рибозы, остатка фосфорной кислоты и одного из четырех азотистых оснований. Три азотистых основания — аденин,

гуанин и цитозин — такие же, как и у ДНК, а четвертое — *урацил*.

Образование полимера РНК происходит через ковалентные связи между рибозой и остатком фосфорной кислоты соседних нуклеотидов.

Выделяют три типа РНК, различающихся по структуре, величине молекул, расположению в клетке и выполняемым функциям.

Рибосомные РНК (рРНК) входят в состав рибосом и участвуют в формировании их активных центров, где происходит процесс биосинтеза белка.

Транспортные РНК (тРНК) — самые небольшие по размеру — транспортируют аминокислоты к месту синтеза белка.

Информационные, или матричные, РНК (иРНК) синтезируются на участке одной из цепей молекулы ДНК и передают информацию о структуре белка из ядра клеток к рибосомам, где эта информация реализуется.

Таким образом, различные типы РНК представляют собой единую функциональную систему, направленную на реализацию наследственной информации через синтез белка.

Молекулы РНК находятся в ядре, цитоплазме, рибосомах, митохондриях и пластидах клетки.

Нуклеиновая кислота. Дезоксирибонуклеиновая кислота, или ДНК. Рибонуклеиновая кислота, или РНК. Азотистые основания: аденин, гуанин, цитозин, тимин, урацил. Комплементарность. Транспортная РНК (тРНК). Рибосомная РНК (рРНК). Информационная РНК (иРНК). Нуклеотид. Двойная спираль.

?

1. Какое строение имеет нуклеотид?
2. Какое строение имеет молекула ДНК?
3. В чем заключается принцип комплементарности?
4. Что общего и какие различия в строении молекул ДНК и РНК?
5. Какие типы молекул РНК вам известны? Каковы их функции?

1.7. АТФ и другие органические соединения клетки



1. Какие органические вещества вы знаете?
2. Какие витамины вам известны? Какова их роль?
3. Какие виды энергии вам известны?
4. Почему для жизнедеятельности любого организма необходима энергия?

Аденозинтрифосфат (АТФ) — нуклеотид, состоящий из азотистого основания аденина, углевода рибозы и трех остатков фосфорной кислоты (рис. 12), содержится в цитоплазме, митохондриях, пластидах и ядрах.

АТФ — неустойчивая структура. При отделении одного остатка фосфорной кислоты АТФ переходит в *аденозиндифосфат (АДФ)*, если отделяется еще один остаток фосфорной кислоты (что бывает крайне редко), то АДФ переходит в *аденозинмонофосфат (АМФ)*. При отделении каждого остатка фосфорной кислоты освобождается 40 кДж энергии.

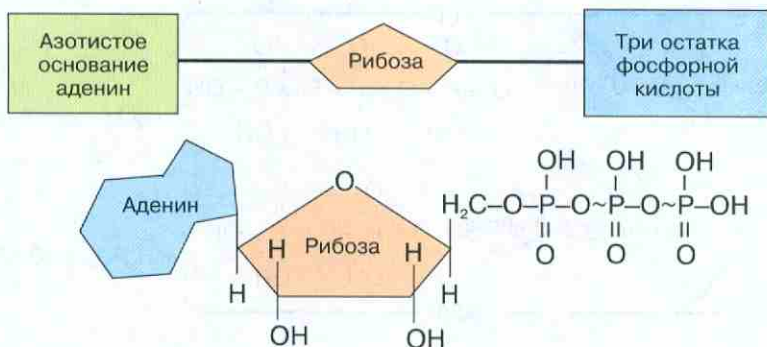
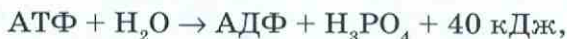


Рис. 12. Строение молекулы АТФ

Связь между остатками фосфорной кислоты называют макроэргической (она обозначается символом ~), так как при ее разрыве выделяется почти в четыре раза больше энергии, чем при расщеплении других химических связей (рис. 13).

АТФ — универсальный источник энергии для всех реакций, протекающих в клетке.

Витамины (от лат. *vita* — жизнь) — сложные биоорганические соединения, необходимые в малых количествах для нормальной жизнедеятельности организмов. В отличие от других органических веществ витамины не используются в качестве источника энергии или строительного материала. Некоторые витамины могут синтезироваться самим организмом (например, бактерии способны образовывать практически все витамины). Другие витамины поступают в организм с пищей.

Витамины принято обозначать буквами латинского алфавита. В основу современной классификации витаминов положена их способность растворяться в воде и жирах. Различают *жирорастворимые* (А, D, Е и К) и *водорастворимые* (В, С, РР и др.) витамины.

Витамины играют большую роль в обмене веществ и других процессах жизнедеятельности организма. Как недостаток, так и избыток витаминов может привести к серьезным нарушениям многих физиологических функций в организме.

Кроме перечисленных выше органических соединений (углеводы, липиды, белки, нуклеиновые кислоты, витами-

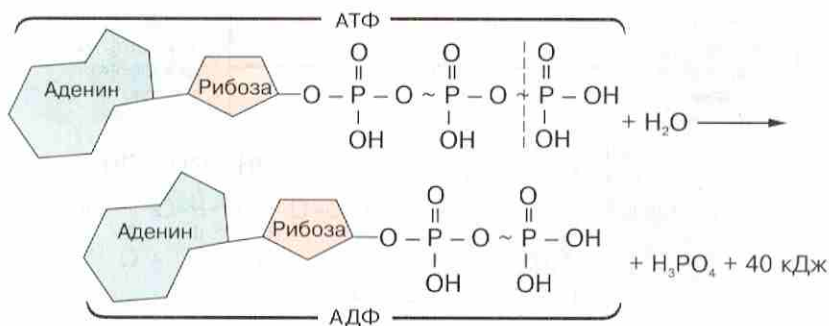


Рис. 13. Структура АТФ. Превращение АТФ в АДФ (~ — макроэргическая связь)

ны) в любой клетке всегда есть много других органических веществ. Они являются промежуточными или конечными продуктами биосинтеза и распада.

Аденозинтрифосфат (АТФ).

Аденозиндифосфат (АДФ).

Аденозинмонофосфат (АМФ).

Макроэргическая связь.

Витамины жирорастворимые и водорастворимые.

?

1. Какое строение имеет молекула АТФ?
2. Какую функцию выполняет АТФ?
3. Какие связи называются макроэргическими?
4. Какую роль выполняют в организме витамины?

1.8. Биологические катализаторы



1. Какие вещества называются катализаторами?
 2. Какова их роль в химических реакциях?
 3. Какой фермент желудочного сока является основным? Какие вещества и при каких условиях он расщепляет?
-

Катализом называется явление ускорения реакции без изменения ее общего результата. Вы знаете, что для протекания многих химических реакций необходимы высокие температура и давление. В то же время при добавлении к реагирующей смеси определенных веществ та же реакция может протекать даже при нормальных условиях и с большей скоростью. Например, металлический родий почти в 10 000 раз ускоряет разложение муравьиной кислоты на водород и диоксид углерода. Вещества, изменяющие скорость химической реакции, но не входящие в состав продуктов реакции, называются *катализаторами*.

В живой клетке умеренная температура, нормальное давление. В таких условиях большинство реакций или вообще

Рис. 14. Схема образования комплекса «фермент — вещество»



не протекали бы или протекали бы очень медленно, если бы не подвергались воздействию катализаторов.

Каталитической способностью обладают некоторые молекулы РНК. Очевидно, это свойство РНК имело очень важное значение на начальном этапе зарождения жизни на нашей планете. В настоящее время роль молекул РНК как катализаторов крайне мала, а основными биокатализаторами в клетке являются *ферменты*.

Все процессы в живом организме прямо или косвенно осуществляются с участием ферментов. Сейчас уже известны тысячи ферментов. Молекулы одних ферментов состоят только из белков, другие включают белок и небелковое соединение, или *кофермент*. В качестве коферментов выступают различные органические вещества, как правило витамины, и неорганические — ионы различных металлов.

Ферменты участвуют в процессах как синтеза, так и распада. При этом ферменты действуют в строго определенной последовательности, они специфичны для каждого вещества и ускоряют только определенные реакции. Встречаются ферменты, которые катализируют несколько реакций. Избирательность действия ферментов на разные химические вещества связана с их строением. Молекулы ферментов имеют *активный центр* — небольшой участок, на котором идет данная реакция. Форма и химическое строение активного центра таковы, что с ним могут связываться только определенные молекулы в силу их комплементарности друг другу.

У некоторых ферментов в присутствии молекул определенных веществ конфигурация активного центра может изменяться, т. е. фермент таким образом может обеспечить наибольшую ферментативную активность.

На заключительном этапе химической реакции комплекс «фермент — вещество» распадается с образованием конеч-

ных продуктов и свободного фермента. Освободившийся при этом активный центр фермента может принимать новые молекулы вещества (рис. 14).

Ферменты увеличивают скорость химических реакций в тысячи и миллионы раз. Но скорость ферментативных реакций зависит от многих факторов — природы и концентрации фермента и вещества, температуры, давления, реакции среды и т. д. Для функционирования каждого фермента имеются оптимальные условия. Например, одни ферменты активны в нейтральной, другие — в кислой или щелочной среде. При температуре свыше 60 °С большинство ферментов не функционирует.

*Катализатор. Фермент. Кофермент.
Активный центр фермента.*

?

1. Какие вещества называются катализаторами?
2. Какую роль играют ферменты в клетке?
3. От каких факторов может зависеть скорость ферментативных реакций?
4. Почему большинство ферментов при высокой температуре теряет каталитические свойства?
5. Почему недостаток витаминов может вызвать нарушения в процессах жизнедеятельности организма?

1.9. Вирусы



1. Какими свойствами обладают живые организмы?
2. Какие нуклеиновые кислоты вы знаете?
3. Какие функции выполняют нуклеиновые кислоты?

Вирусы (от лат. *virus* — яд) не имеют клеточного строения. Они представляют собой простейшую форму жизни на нашей планете, занимая пограничное положение между неживой и живой материей.

Вирусы — это внутриклеточные паразиты, и вне клетки они не проявляют никаких свойств живого. Они не потребляют пищи и не вырабатывают энергии, не растут, у них нет обмена веществ. Многие из них во внешней среде имеют форму кристаллов. Вирусы настолько малы, что их можно увидеть только с помощью электронного микроскопа (рис. 15).

От неживой материи вирусы отличаются двумя свойствами: способностью воспроизводить себе подобные формы (размножаться) и обладанием наследственностью и изменчивостью.

Устроены вирусы очень просто. Каждая вирусная частица состоит из РНК или ДНК, заключенной в белковую оболочку, которую называют *капсидом* (рис. 16).

Проникнув в клетку, вирус изменяет в ней обмен веществ, направляя всю ее деятельность на производство вирусной нуклеиновой кислоты и вирусных белков. Внутри клетки происходит самосборка вирусных частиц из синтезированных молекул нуклеиновой кислоты и белков. До момента гибели в клетке успевает синтезироваться огромное число вирусных частиц. В конечном итоге клетка гибнет, оболочка ее лопається и вирусы выходят из клетки-хозяина (рис. 17).

Поселяясь в клетках живых организмов, вирусы вызывают многие опасные заболевания: у человека — грипп,

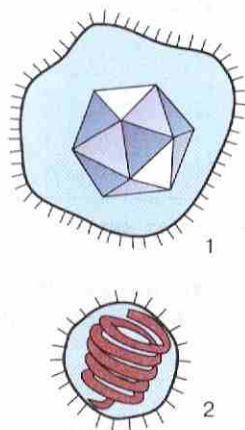


Рис. 15. Форма некоторых вирусов: 1 — вирус герпеса, 2 — вирус гриппа

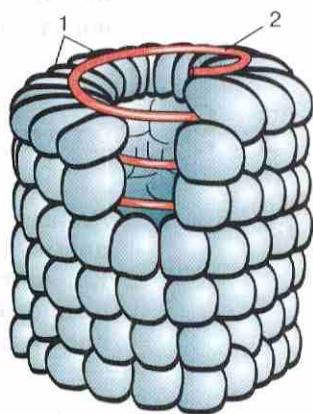


Рис. 16. Модель вируса табачной мозаики: 1 — белковая оболочка, 2 — РНК

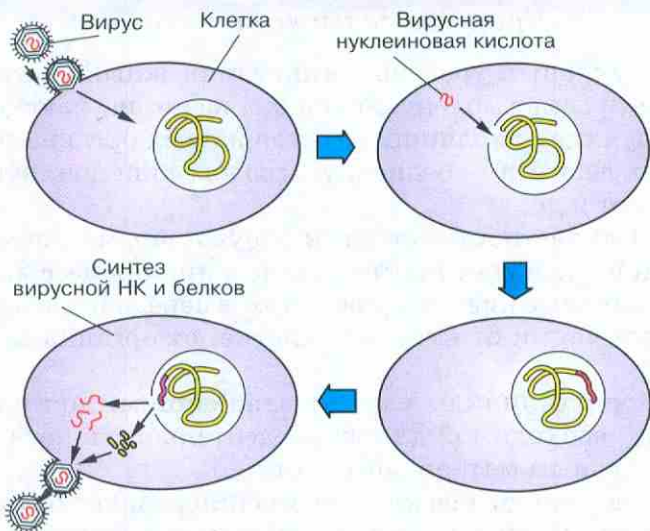


Рис. 17. Цикл развития вируса

оспу, корь, полиомиелит, свинку, бешенство, СПИД и многие другие; у растений — мозаичную болезнь табака, томатов, огурцов, скручивание листьев, карликовость и др.; у животных — ящура, чуму свиней и птиц, инфекционную анемию лошадей и др.

Происхождение вирусов в процессе эволюции пока неясно. Большинство ученых предполагают, что вирусы представляют собой клетки или их фрагменты, которые в ходе приспособления к паразитизму утратили все, без чего «можно обойтись», за исключением своего наследственного аппарата в виде нуклеиновой кислоты и защитной белковой оболочки.

Вирусы. Капсид.

?

1. Какое строение имеют вирусы?
2. На основании чего вирусы относят к живым организмам?
3. Какие особенности отличают вирусы от других живых организмов?

Краткое содержание главы

Молекулярный уровень организации живой материи составляет предмет молекулярной биологии, изучающей строение и функции входящих в состав живых организмов органических веществ — белков, углеводов, липидов, нуклеиновых кислот и др.

Белки являются основными структурными элементами клеток и регулируют протекающие в них процессы.

Нуклеиновые кислоты участвуют в передаче наследственной информации от клетки к клетке, от организма к организму.

Углеводы и липиды служат важнейшими источниками энергии, необходимой для жизнедеятельности организмов, и строительным материалом клетки.

Свойства биологических соединений зависят от строения их молекул. Углеводы состоят из углерода, водорода и кислорода. Они могут быть простыми (моносахариды) и сложными (полисахариды).

Липиды — группа жироподобных веществ, нерастворимых в воде. Большинство липидов состоит из высокомолекулярных жирных кислот и трехатомного спирта глицерина.

Белки, или протеины, — биополимеры. Мономерами белков являются аминокислоты. Все разнообразие белков создается различными сочетаниями всего 20 аминокислот.

Молекулы белков могут принимать различную пространственную конфигурацию: первичную, вторичную, третичную и четвертичную структуры. Такая сложность строения молекул белков связана с многочисленными функциями, выполняемыми этими биополимерами. Многие белки являются ферментами, т. е. биокатализаторами.

Нуклеиновые кислоты — биополимеры, состоящие из мономеров-нуклеотидов. В состав каждого нуклеотида входит азотистое основание, углевод (рибоза или дезоксирибоза) и остаток фосфорной кислоты. Различают два типа нуклеиновых кислот — РНК и ДНК.

АТФ является нуклеотидом, состоящим из азотистого основания аденина, углевода рибозы и трех остатков фосфорной кислоты. АТФ — универсальный источник энергии для всех реакций, протекающих в клетке.

Вирусы — переходная форма между живой и неживой материей. Они состоят из РНК или ДНК и белковой оболочки.



Из этой главы вы узнаете:

- как устроена клетка — элементарная единица жизни на Земле;
 - каковы функции ядра клетки и ее органоидов;
 - как клетка получает энергию;
 - как клетка синтезирует вещества, необходимые ей для жизнедеятельности;
 - как клетка делится.
-

2.1. Основные положения клеточной теории



1. Что общего и какие различия между клетками растений и бактерий?
2. Все ли организмы на Земле имеют клеточное строение?

Все живые существа на Земле, за исключением вирусов, построены из клеток и могут быть одноклеточными (бактерии, некоторые водоросли, простейшие) или многоклеточными.

Клетка — элементарная единица жизни на Земле. Она обладает всеми признаками живого организма: растет, размножается, обменивается с окружающей средой веществами и энергией, реагирует на внешние раздражители. Клетки различных органов животных, растений, грибов внешне не очень похожи друг на друга. Ну что общего, казалось бы, между нейроном нашего мозга, стрекательной клеткой гидры, инфузорией туфелькой и клеткой листа березы? И тем не менее между этими, да и всеми другими клетками, гораздо больше сходства, чем различий.

И хотя многие ученые пользовались микроскопами для изучения живых существ, техника XVII—XVIII вв. была еще очень несовершенной. Лишь в начале XIX в. Р. Броун смог увидеть внутри клеток листа плотное образование, которое он назвал *ядром*. К середине XIX в. немецкие ученые Т. Шванн и М. Шлейден, обобщив сведения, полученные многими исследователями, сформулировали *клеточную теорию*, одну из основных в современной биологии. Каковы же ее главные положения?

1. Все живые существа, от одноклеточных до крупных растительных и животных организмов, состоят из клеток.

2. Все клетки сходны по строению, химическому составу и жизненным функциям.

3. Несмотря на то, что в многоклеточных организмах отдельные клетки специализируются на выполнении какой-то определенной «работы», они способны к самостоятельной

жизнедеятельности, т. е. могут питаться, расти, размножаться.

М. Шлейден и Т. Шванн ошибочно полагали, что клетки могут самопроизвольно зарождаются в жидкостях или во множестве рождаются внутри старых клеток. Однако немецкий биолог и врач Р. Вирхов доказал, что клетки способны делиться, и предложил следующее дополнение к клеточной теории:

4. Все клетки образуются из клетки. Таким образом, клетка — элементарная единица живого, лежащая в основе строения, развития и размножения всех живых организмов.

Микроскоп. Клеточная теория. Ядро.

?

1. Кто разработал клеточную теорию?
2. Почему клетку назвали клеткой?
3. Какие свойства объединяют все клетки живых организмов?

2.2. Общие сведения о клетках. Клеточная мембрана



1. Чем различаются оболочки животной и растительной клеток?
2. Чем покрыта клетка гриба?

Клетки, несмотря на свои малые размеры, устроены очень сложно. Они содержат структуры для потребления питательных веществ и энергии, выделения ненужных продуктов обмена, размножения. Все эти стороны жизнедеятельности клетки должны быть тесно связаны друг с другом.

Исследования, проводившиеся в течение многих десятилетий и не прекращающиеся до сих пор, позволяют нарисовать достаточно полную картину строения клетки. Мы можем связать отдельные функции клетки с множеством различных мельчайших образований, обнаруженных в ней.

Внутреннее полужидкое содержимое клетки получило название *цитоплазмы*. В цитоплазме большинства клеток находится *ядро*, координирующее жизнедеятельность клетки, и многочисленные *органойды*, выполняющие разнообразные функции.

Чтобы клетка представляла собой единую систему, необходимо, чтобы все ее части — цитоплазма, ядро, органойды — удерживались вместе. Для этого в процессе эволюции развилась *клеточная мембрана*, которая, окружая каждую клетку, отделяет ее от внешней среды. Наружная мембрана защищает внутреннее содержимое клетки — цитоплазму и ядро — от повреждений, поддерживает постоянную форму клетки, обеспечивает связь клеток между собой, избирательно пропускает внутрь клетки необходимые вещества и выводит из клетки продукты обмена.

Строение мембраны у всех клеток одинаково. Ее толщина составляет приблизительно 8 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$), и поэтому увидеть мембрану в световой микроскоп невозможно. Данные, полученные при помощи электронного микроскопа, позволили заключить, что основу мембраны составляет двойной слой молекул липидов (рис. 18), в котором расположены многочисленные молекулы белков. Некоторые белки находятся на поверхности липидного слоя, другие — пронизывают оба слоя липидов насквозь. Специальные белки образуют тончайшие каналы, по которым внутрь клетки или из нее могут проходить ионы калия, натрия, кальция и некоторые другие ионы, имеющие маленький диаметр. Однако более крупные частицы через мембранные каналы пройти не могут. Молекулы пищевых веществ — белки, углево-

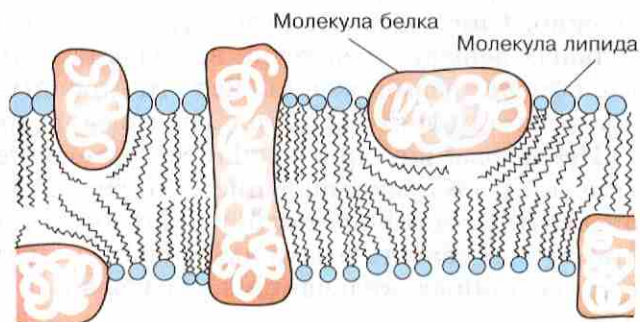
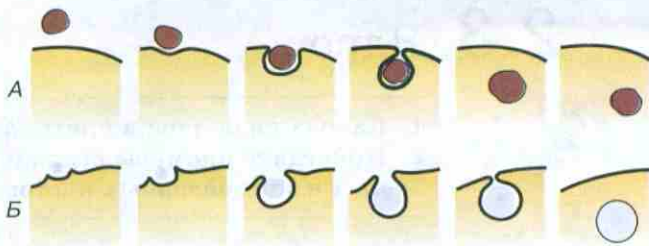


Рис. 18.
Строение
клеточной
мембраны

Рис. 19. Схематическое изображение процессов фагоцитоза (А) и пиноцитоза (Б)



ды, липиды — попадают в клетку при помощи фагоцитоза или пиноцитоза.

В том месте, где пищевая частица прикасается к наружной мембране клетки, образуется впячивание, и частица попадает внутрь клетки, окруженная мембраной. Этот процесс называется *фагоцитозом* (рис. 19, А). Внутри образовавшегося пузырька проникают пищеварительные ферменты, и возникает *пищеварительная вакуоль*. Путем фагоцитоза питаются простейшие. У многоклеточных организмов некоторые лейкоциты крови — довольно крупные амебовидные клетки, передвигаясь в крови и лимфе, также способны активно захватывать и переваривать чужеродные бактерии. Их называют *фагоцитами*.

Так как клетки растений покрыты плотным слоем клетчатки, они не могут захватывать вещества при помощи фагоцитоза.

Пиноцитоз отличается от фагоцитоза лишь тем, что в этом случае впячивание наружной мембраны захватывает не твердые частицы, а капельки жидкости с растворенными в ней веществами (рис. 19, Б). Это один из основных механизмов проникновения веществ в клетку.

**Цитоплазма. Ядро. Органоиды. Мембрана.
Фагоцитоз. Пиноцитоз.**

?

1. Каковы функции наружной мембраны клетки?
2. Какими способами различные вещества могут проникать внутрь клетки?
3. Чем пиноцитоз отличается от фагоцитоза?
4. Почему у растительных клеток нет фагоцитоза?

2.3. Ядро



1. Какова роль ядра в клетке?
2. Приведите примеры безъядерных, одноядерных и многоядерных клеток.

Клеточное ядро — это важнейшая часть клетки. Оно есть почти во всех клетках многоклеточных организмов. Исключение составляют красные кровяные тельца человека — эритроциты, которые лишены ядра. Не имеют ядра и древнейшие одноклеточные существа на Земле — бактерии, поэтому их и называют *прокариотами* (от лат. pro — перед, раньше и греч. кауоn — ядро). Клетки всех остальных организмов — грибов, растений, животных — содержат хорошо оформленное ядро, поэтому их называют *эукариотами* (от греч. eu — хорошо, полностью).

Почему же наличие ядра так важно для жизнедеятельности клетки? Клеточное ядро содержит ДНК — вещество наследственности, в котором зашифрованы все свойства клетки, и поэтому необходимо для осуществления двух важнейших функций. Во-первых, это деление, при котором образуются новые клетки, во всем подобные материнской. Во-вторых, ядро регулирует все процессы белкового синтеза, обмена веществ и энергии, идущие в клетке.

Ядро чаще всего имеет шаровидную или овальную форму. Обычно в клетках находится одно ядро, хотя есть и исключения. Например, у инфузории туфельки два ядра, а в волокнах поперечно-полосатых мышц их множество.

От цитоплазмы ядро отделено оболочкой, состоящей из двух мембран (рис. 20). Внутренняя мембрана гладкая, а наружная имеет многочисленные выступы. Общая толщина клеточной оболочки — около 30 нм. В оболочке ядра имеются многочисленные поры для того, чтобы различные вещества могли попадать из цитоплазмы в ядро, и наоборот.

Внутреннее содержимое ядра получило название *кариоплазмы* или *ядерного сока*. В ядерном соке расположены хроматин и ядрышки.

Хроматин представляет собой нити ДНК. Если клетка начинает делиться, то нити хроматина плотно накручиваются спиралью на особые белки, как нитки на катушку. Та-

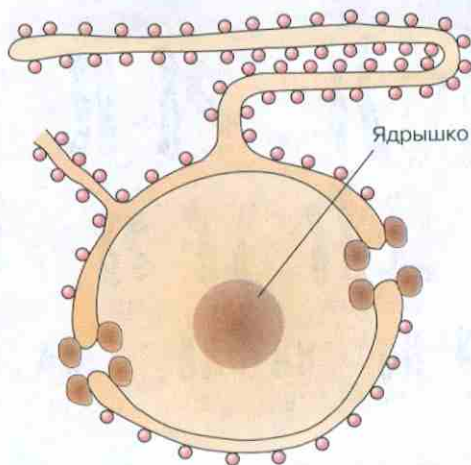


Рис. 20.
Схема строения клеточного ядра и его связь с цитоплазмой и эндоплазматической сетью

кие плотные образования хорошо видны в микроскоп и называются *хромосомами*. Если же посмотреть в микроскоп на клетку между делениями, то окажется, что хромосомы раскручены до тончайших нитей ДНК. Дело в том, что гены — участки ДНК, в которых зашифрована структура какого-либо белка, — могут функционировать только в деспирализованном виде. Таким образом, в зависимости от того, в каком состоянии находится клетка, которую мы рассматриваем в микроскоп, хроматин будет иметь вид или хромосом, или тончайших деспирализованных нитей.

Хромосомный набор клетки. Набор хромосом, содержащийся в клетках того или иного вида организмов, получил название *кариотипа*. Перед делением клетки хромосомы спирализуются и становятся хорошо различимыми в световой микроскоп. При их рассмотрении становится очевидно, что число хромосом у разных видов живых организмов различное. Если количество хромосом в клетках двух видов животных или растений одинаково, то различными будут размеры, форма, место расположения центромеры, т. е. кариотип всегда неповторим.

Клетки, составляющие органы и ткани любого многоклеточного организма, получили название *соматических*. Ядра соматических клеток содержат, как правило, двойной, или *диплоидный*, набор хромосом, т. е. по две хромосомы каждого вида (рис. 21). Исходно половина хромосом досталась каждой клетке от материнской яйцеклетки и точно такие же хромосомы — от сперматозоида отца. Парные, т. е. абсо-

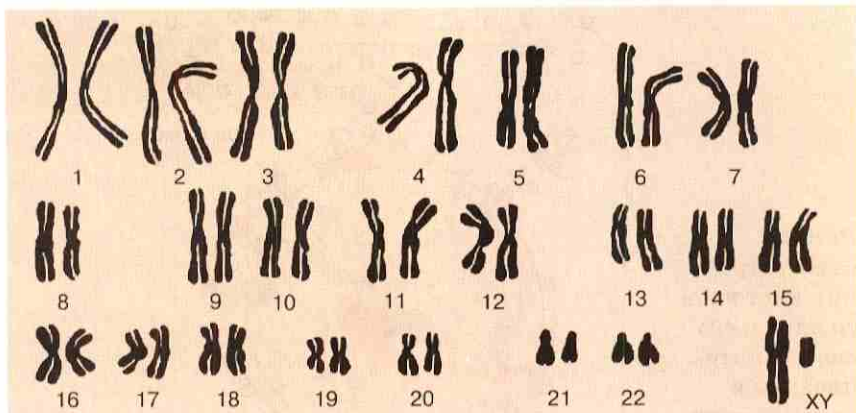


Рис. 21. Нормальный хромосомный набор мужчины

лотно одинаковые, хромосомы (одна — от матери, другая — от отца) получили название *гомологичных хромосом*. Исключение представляют половые хромосомы: X — доставшаяся от матери и одна из двух — X или Y — доставшаяся от отца. Количество хромосом в ядре клеток какого-либо организма, как ни странно, не определяет уровень его сложности. Так, например, диплоидный набор в клетках аскариды — 2 хромосомы, мушки-дрозофилы — 8, зеленой жабы — 26, пресноводной гидры — 32, человека — 46, домашней собаки — 78, речного рака — 118, а миноги — 174. Совершенно очевидно, что жаба устроена ничуть не проще, чем гидра, а человек — не проще, чем собака или минога.

Гаплоидный набор хромосом — это набор различных по размерам и форме хромосом клеток данного вида, но каждая хромосома представлена в единственном числе, в отличие от диплоидного набора, когда каждой хромосомы — по две. Гаплоидный набор содержится в ядрах половых клеток (*гамет*). Если у человека диплоидный набор — 46 хромосом, то гаплоидный, соответственно, — 23.

В интерфазе клеточного цикла каждая хромосома удваивается и состоит из двух хроматид. При этом у человека в соматических клетках будет 92 хроматиды, попарно соединенных в 46 хромосом.

Ядрышко представляет собой плотное округлое тело, взвешенное в ядерном соке. Ядрышки связаны с определенными участками ДНК ядра. Функция ядрышек — синтез РНК и

белков, из которых формируются особые органоиды — рибосомы. Обычно в ядре клетки бывает от одного до семи ядрышек. Они хорошо видны между делениями клетки, а во время деления — разрушаются.

*Прокариоты. Эукариоты. Хроматин. Ядрышки.
Хромосомы. Кариотип. Соматические клетки.
Диплоидный набор. Гомологичные хромосомы.
Гаплоидный набор хромосом. Гаметы.*

?

1. Каковы функции ядра клетки?
2. Какие организмы относятся к прокариотам?
3. Как устроена ядерная оболочка?
4. Что собой представляет хроматин?
5. Каковы функции ядрышек?
6. Из чего состоит хромосома?
7. Где располагаются хромосомы у бактерий?
8. Что такое кариотип?
9. Как называется набор хромосом в соматических клетках?
10. Какой набор хромосом в гаметах?
11. Какой гаплоидный набор хромосом в клетках рака, если диплоидный равен 118?
12. Может ли диплоидный набор содержать нечетное число хромосом?

2.4. Эндоплазматическая сеть. Рибосомы. Комплекс Гольджи



1. Какие функции выполняют белки в клетке?
2. Какое строение имеют молекулы белков?

Эндоплазматическая сеть. Вся цитоплазма пронизана многочисленными каналами, стенки которых образованы мембраной, сходной с той, что составляет наружную оболочку клетки (рис. 22). Эти каналы могут ветвиться, соединяться друг с другом, и в результате возникает единая транспортная

система клетки, получившая название *эндоплазматической сети* (ЭПС). Каналов ЭПС так много, что они могут занимать до 50% внутреннего объема клетки. Просвет каналов ЭПС бывает различным, но средняя его величина 50 нм. При большом увеличении под микроскопом видно, что часть мембран сети покрыта рибосомами. Эту часть ЭПС называют *шероховатой (гранулярной)*. Основная функция шероховатой ЭПС — синтез белков в рибосомах. Особенно развит этот вид каналов в клетках желез, где происходит синтез гормональных белков. Другая часть ЭПС не покрыта рибосомами и получила название *гладкой*. Гладкая ЭПС, по-видимому, выполняет в основном транспортную функцию. Этот вид каналов часто встречается в клетках селезенки и лимфатических узлов человека.

Таким образом, эндоплазматическая сеть, с одной стороны, является транспортной системой клетки, а с другой стороны, в ней происходит синтез ряда веществ, необходимых иногда только самой клетке, а в других случаях — и многим клеткам многоклеточного организма.

Рибосомы — это небольшие шарообразные органоиды, диаметром 10—30 нм. Образованы они рибонуклеиновыми кислотами и белками. Каждая рибосома состоит из нескольких частей (рис. 23). Рибосомы формируются в ядрышках ядра, а затем выходят в цитоплазму, где и начинают выполнять свою функцию — синтез белков. В цитоплазме рибосомы чаще всего расположены на шероховатой эндоплазматической сети. Реже они свободно взвешены в цитоплазме клетки.



Рис. 22. Электронная микрофотография участка гранулярной эндоплазматической сети

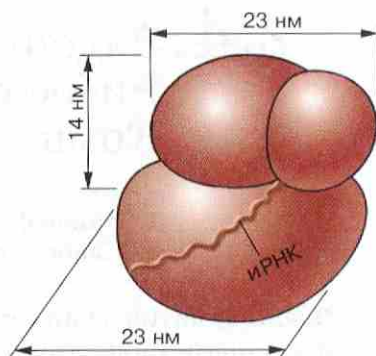


Рис. 23. Строение рибосомы эукариотической клетки

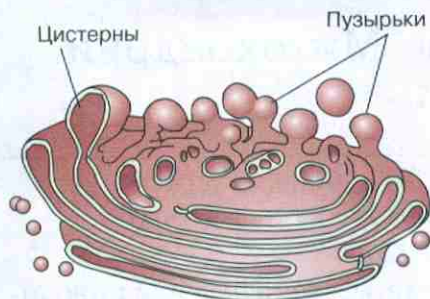


Рис. 24. Схема строения и микрофотография аппарата Гольджи

Комплекс Гольджи. Образующиеся в клетке белки, жиры и углеводы далеко не всегда используются сразу же, и их надо где-то хранить. Поэтому значительная часть синтезируемых клеткой веществ по каналам ЭПС поступает в особые полости, отграниченные от цитоплазмы мембраной. Эти полости, уложенные своеобразными стопками, «цистернами», получили название *комплекса*, или *аппарата, Гольджи* (рис. 24). Здесь вещества, необходимые самой клетке, например пищеварительные ферменты, «упаковываются» в мембранные пузырьки, отпочковываются и разносятся по цитоплазме. В комплексе Гольджи также накапливаются вещества, которые клетка синтезирует для нужд всего организма и которые выводятся из клетки наружу. Чаще всего цистерны аппарата Гольджи расположены вблизи от ядра клетки. В растительных клетках в этой структуре, возможно, синтезируется клетчатка для клеточной оболочки.

Эндоплазматическая сеть.

Рибосомы. Комплекс Гольджи.

?

1. Чем образованы стенки эндоплазматической сети и комплекса Гольджи?
2. Назовите функции эндоплазматической сети.
3. Какую функцию выполняют рибосомы?
4. Почему большинство рибосом расположены на каналах эндоплазматической сети?
5. Почему аппарат Гольджи чаще расположен вблизи от ядра клетки?
6. Почему в эритроцитах аппарат Гольджи отсутствует?

2.5. Лизосомы. Митохондрии. Пластиды



1. Каково строение и функции АТФ?
2. Какие виды пластид вам известны?

Лизосомы. Когда в клетку путем фагоцитоза или пиноцитоза попадают различные питательные вещества, их необходимо переварить. При этом белки должны разрушиться до отдельных аминокислот, полисахариды — до молекул глюкозы или фруктозы, липиды — до глицерина и жирных кислот. Чтобы внутриклеточное переваривание стало возможным, фагоцитарный или пиноцитарный пузырек должен слиться с лизосомой (рис. 25). *Лизосома* — маленький пузырек, диаметром всего 0,5—1,0 мкм, содержащий в себе

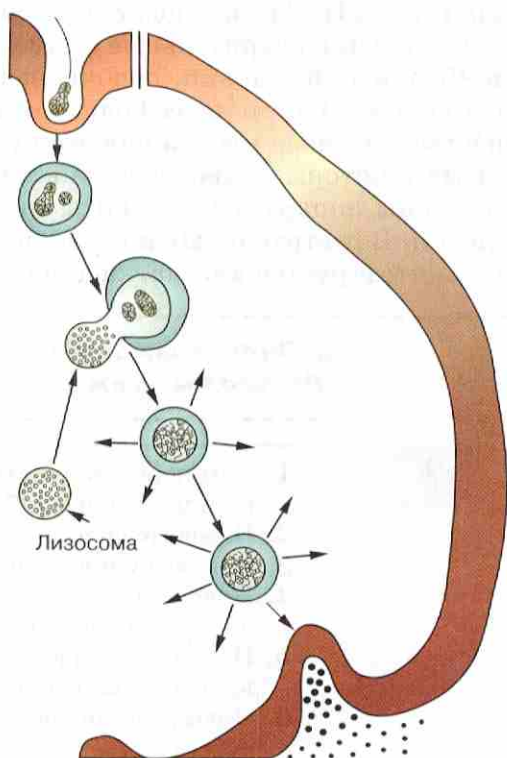


Рис. 25. Схема переваривания клеткой пищевой частицы при помощи лизосомы

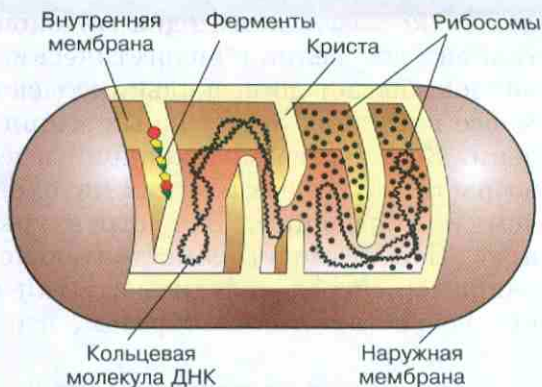


Рис. 26. Схема строения митохондрии

большой набор ферментов, способных разрушать пищевые вещества. В одной лизосоме могут находиться 30—50 различных ферментов. Лизосомы окружены мембраной, способной выдержать воздействие этих ферментов. Формируются лизосомы в комплексе Гольджи. Именно в этой структуре накапливаются синтезированные пищеварительные ферменты, а затем от цистерн комплекса Гольджи отходят в цитоплазму мельчайшие пузырьки — лизосомы. Иногда лизосомы разрушают и саму клетку, в которой образовались. Так, например, лизосомы постепенно переваривают все клетки хвоста головастика при его превращении в лягушку. Таким образом, питательные вещества не теряются, а расходуются на формирование новых органов у лягушки.

Митохондрии. В цитоплазме расположены также *митохондрии* — энергетические органоиды клеток (рис. 26). Форма митохондрий различна — они могут быть овальными, округлыми, палочковидными. Диаметр их около 1 мкм, а длина — до 7—10 мкм. Митохондрии покрыты двумя мембранами: наружная мембрана гладкая, а внутренняя имеет многочисленные складки и выступы — *кристы*. В мембрану крист встроены ферменты, синтезирующие за счет энергии питательных веществ, поглощенных клеткой, молекулы аденозинтрифосфата (АТФ). АТФ — это универсальный источник энергии для всех процессов, происходящих в клетке.

Количество митохондрий в клетках различных живых существ и тканей неодинаково. Например, в сперматозои-

дах может быть всего одна митохондрия. Зато в клетках тканей, где велики энергетические затраты, этих органоидов бывает до нескольких тысяч. Например, их очень много в клетках летательных мышц у птиц, в клетках печени. Количество митохондрий в клетке зависит и от ее возраста: в молодых клетках митохондрий гораздо больше, чем в стареющих. Эти структуры содержат собственную ДНК и могут самостоятельно размножаться. Так, например, перед делением клетки число митохондрий в ней возрастает таким образом, чтобы их хватило на две клетки.

Митохондрии содержатся во всех эукариотических клетках, а вот в прокариотических клетках их нет. Этот факт, а также наличие в митохондриях ДНК позволило ученым выдвинуть гипотезу о том, что предки митохондрий когда-то были свободноживущими существами, напоминающими бактерии. Со временем они поселились в клетках других организмов, возможно, паразитируя в них. А затем за многие миллионы лет превратились в важнейшие органоиды, без которых ни одна эукариотическая клетка не может существовать.

Пластиды — это органоиды растительных клеток. В зависимости от окраски пластиды делят на лейкопласты, хлоропласты и хромопласты. Так же как митохондрии, они имеют двухмембранное строение (рис. 27).

Лейкопласты бесцветны и находятся обычно в неосвещаемых частях растений, например в клубнях картофеля. В них происходит накопление крахмала. На свету в лейкопластах образуется зеленый пигмент хлорофилл, поэтому клубни картофеля зеленеют.

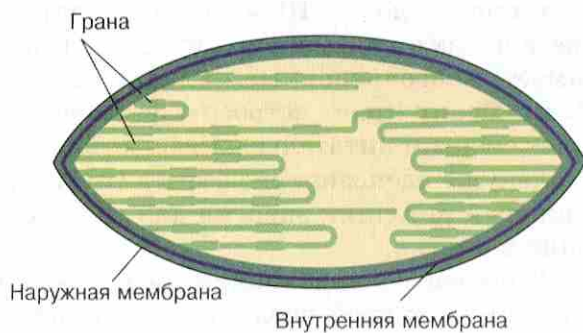


Рис. 27. Схема строения хлоропласта

Основная функция зеленых пластид — *хлоропластов* — фотосинтез, т. е. превращение энергии солнечного света в энергию макроэргических связей АТФ и синтез за счет этой энергии углеводов из углекислого газа воздуха. Больше всего хлоропластов в клетках листьев. Размер хлоропластов 5—10 мкм. По форме они могут напоминать линзу или мяч для игры в регби. Под наружной гладкой мембраной находится складчатая внутренняя мембрана. Между складками мембран находятся стопки связанных с ней пузырьков. Каждая отдельная стопка таких пузырьков называется *граной*. В одном хлоропласте может быть до 50 гран, которые расположены в шахматном порядке, чтобы до каждой из них мог доходить свет солнца. В мембранах пузырьков, образующих граны, находится хлорофилл, необходимый для превращения энергии света в химическую энергию АТФ. Во внутреннем пространстве хлоропластов между гранами происходит синтез углеводов, на который и расходуется энергия АТФ. Обычно в одной клетке листа растения находится от 20 до 100 хлоропластов.

В *хромoplastах* содержатся пигменты красного, оранжевого, фиолетового, желтого цветов. Этих пластид особенно много в клетках лепестков цветков и оболочек плодов.

Как и митохондрии, пластиды содержат собственные молекулы ДНК. Поэтому они также способны самостоятельно размножаться, независимо от деления клетки.

*Лизосомы. Митохондрии. Кристы.
Пластиды: лейкопласты, хлоропласты,
хромoplastы. Граны.*

?

1. Где формируется лизосома?
2. Какова функция митохондрий?
3. Какие виды пластид вы знаете?
4. Чем отличается каждый вид пластид от другого?
5. Почему граны в хлоропласте расположены в шахматном порядке?
6. Что будет, если лизосома в одной из клеток внешне разрушится?
7. В чем сходство митохондрий и пластид?

2.6. Клеточный центр. Органоиды движения. Клеточные включения



1. Какие способы движения клеток вам известны?
2. В каком виде клетка хранит питательные вещества?

Клеточный центр расположен в цитоплазме всех клеток вблизи от ядра. Он играет важнейшую роль в формировании внутреннего скелета клетки — *цитоскелета*. Из области клеточного центра расходятся многочисленные *микротрубочки*, поддерживающие форму клетки и играющие роль своеобразных рельсов для движения органоидов по цитоплазме. У животных и низших растений клеточный центр образован двумя *центриолями* (рис. 28). Каждая центриоль — это цилиндр длиной около 0,3 мкм и диаметром 0,1 мкм, образованный тончайшими микротрубочками. Микротрубочки расположены по окружности центриолей по три (триплетами), а еще две микротрубочки лежат по оси каждой из двух центриолей. Центриоли расположены в цитоплазме под прямым углом друг к другу. Очень велика роль клеточного центра при делении клеток, когда центриоли расходятся к полюсам делящейся клетки и образуют *веретено деления*. У высших растений клеточный центр устроен по-другому и центриолей не имеет.

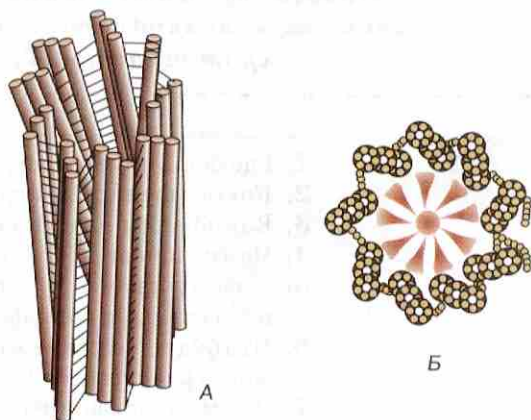


Рис. 28. Схема строения (А) и электронная микрофотография (Б) центриоли

Органоиды движения. Многие клетки способны к движению, например инфузория туфелька, эвглена зеленая, амебы (рис. 29). Некоторые из этих организмов двигаются при помощи особых органоидов движения — ресничек и жгутиков.

Жгутики имеют относительно большую длину, например у сперматозоидов млекопитающих она достигает 100 мкм. Реснички гораздо короче — около 10—15 мкм. Однако внутреннее строение ресничек и жгутиков одинаково: они образованы такими же микротрубочками, как центриоли клеточного центра. Движение жгутиков и ресничек вызвано скольжением микротрубочек друг относительно друга, в результате чего эти органоиды изгибаются. В основании каждой реснички или жгутика лежит *базальное тельце*, которое укрепляет их в цитоплазме клетки. На работу жгутиков и ресничек расходуется энергия АТФ.

Органоиды движения часто встречаются и у клеток многоклеточных организмов. Например, эпителий бронхов человека покрыт множеством (около 10^9 на 1 см^2) ресничек. Все реснички каждой эпителиальной клетки двигаются строго согласованно, образуя своеобразные волны, хорошо заметные под микроскопом. Такие «мерцательные» движения ресничек помогают очистке бронхов от инородных частиц, пыли. Жгутики есть у таких специализированных клеток, как сперматозоиды.

Клеточные включения. Помимо обязательно имеющих органоидов, в клетке есть образования то появляющиеся,

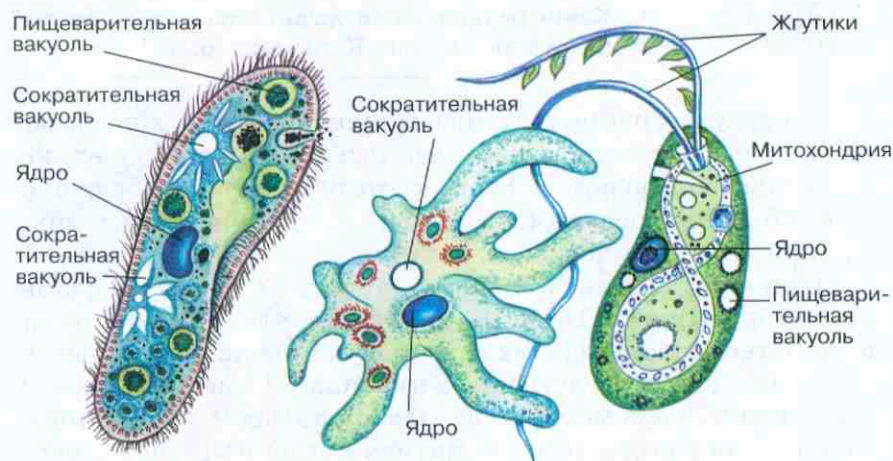


Рис. 29. Одноклеточные организмы, способные к движению

то исчезающие в зависимости от ее состояния. Эти образования получили название *клеточных включений*. Чаще всего клеточные включения находятся в цитоплазме и представляют собой питательные вещества или гранулы веществ, синтезируемых этой клеткой. Это могут быть мелкие капли жира, гранулы крахмала или гликогена, реже — гранулы белка, кристаллы солей.

Клеточный центр. Цитоскелет. Микротрубочки. Центриоли. Веретено деления. Реснички. Жгутики. Базальное тельце. Клеточные включения.

?

1. Каковы функции клеточного центра?
2. Где расположены центриоли?
3. Каковы функции центриолей в клетке?
4. В чем сходство и различие между ресничками и жгутиками?
5. Назовите примеры клеточных включений.

2.7. Различия в строении клеток эукариот и прокариот



1. Какие безъядерные организмы вам известны?
2. Что такое споры? Какова их роль?

Как вы уже знаете, организмы, клетки которых не имеют ядра, называются прокариотами. Все прокариоты объединены в царство Дробянки. Всего к этому царству относят около 3000 видов организмов. Каковы же отличительные признаки прокариотической клетки?

Прокариотические клетки обычно очень малы: их размеры не превышают 10 мкм. У них нет ядерной оболочки, и единственная хромосома часто имеет кольцевидную форму и находится непосредственно в цитоплазме клетки (рис. 30). Клетка окружена мембраной, поверх которой у большинства прокариот выделяется защитная клеточная стенка, фиксирующая форму клетки и придающая ей прочность. Вну-

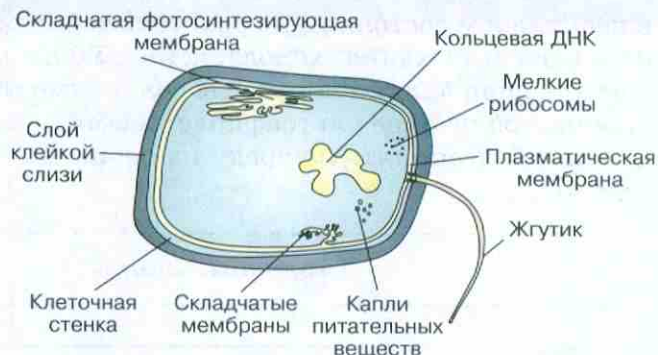


Рис. 30. Схема строения прокариотической клетки

три прокариотической клетки отсутствуют органоиды, окруженные мембранами, т. е. в ней нет эндоплазматической сети (ее роль выполняют многочисленные выступы клеточной мембраны), нет митохондрий, нет пластид. Рибосомы у прокариот мелкие. Прокариоты часто имеют органоиды движения — жгутики и реснички.

Многие прокариоты — *анаэробы*, т. е., в отличие от подавляющего большинства эукариот, им не нужен кислород воздуха. С другой стороны, многие прокариоты способны захватывать и использовать для своих нужд азот воздуха, чего не могут эукариотические организмы.

Прокариоты чаще размножаются бесполом путем, а именно делением клетки надвое. Половой процесс, т. е. процесс обмена генетическим материалом, у прокариот встречается значительно реже. Многие прокариоты, например бактерии, в неблагоприятных условиях способны образовывать *споры*. При этом содержимое бактериальной клетки сжимается, и вокруг него выделяется плотная оболочка. После этого прежняя бактериальная клетка разрушается, и спора выходит наружу (рис. 31). Спора может десятилетиями быть

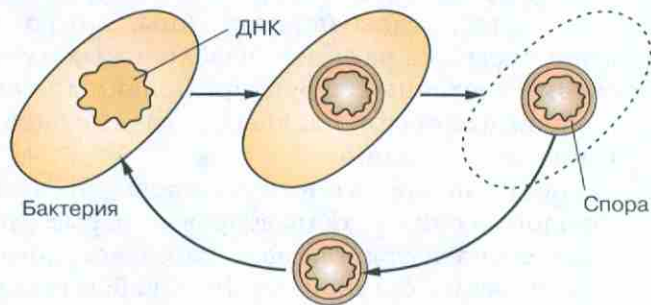


Рис. 31. Спорообразование у бактерий

в неактивном состоянии, переноситься водой и ветром. Она не боится высыхания, холода, жары. Убийственным фактором для спор являются прямые солнечные лучи или искусственное облучение ультрафиолетовыми лучами. При попадании в благоприятную среду из споры быстро образуется бактерия.

Анаэробы. Споры.

?

1. Какие признаки примитивности прокариот по сравнению с эукариотами вы можете назвать?
2. Для чего бактериям споры?

2.8. Ассимиляция и диссимиляция. Метаболизм



1. Что такое ферменты?
2. Какова их роль в организме?

Любая живая клетка, осуществляя многообразные процессы синтеза и распада веществ, подобна сложнейшему химическому комбинату. Для нормального протекания этих химических процессов необходим постоянный обмен веществами между клеткой и окружающей средой, а также постоянное превращение энергии в клетке. Получаемые извне белки, жиры, углеводы, витамины, микроэлементы расходуются клетками на синтез необходимых им соединений, построение клеточных структур. Однако для синтеза веществ необходима энергия. Главный источник энергии для живых организмов — Солнце.

Из поступающих в клетку компонентов пищи под действием биологических катализаторов — ферментов синтезируются новые молекулы для замены израсходованных веществ, для построения органоидов. Весь набор реакций биологиче-

ского синтеза веществ в клетке (биосинтеза) получил название *ассимиляции* или *пластического обмена*.

Очевидно, что синтез каких-либо веществ невозможен без затрат энергии. Особенно интенсивно реакции ассимиляции происходят в растущей, развивающейся клетке. Важнейшими из таких реакций являются синтез белка и фотосинтез. Как же клетка получает энергию для реакций биосинтеза? Наряду с процессами синтеза новых веществ в клетках происходит постоянный распад запасенных при ассимиляции сложных органических веществ. При участии ферментов эти молекулы распадаются до более простых соединений; при этом высвобождается энергия. Чаще всего эта энергия запасается в виде аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Далее энергия АТФ используется для различных нужд клетки, в том числе и для реакций биосинтеза. Совокупность реакций распада веществ клетки, сопровождающихся выделением энергии, получила название *диссимиляции*.

Ассимиляция и диссимиляция — противоположные процессы: в первом случае вещества образуются, во втором — разрушаются. Но они тесно взаимосвязаны и друг без друга невозможны. Ведь если в клетке не будут синтезироваться и запасаться сложные вещества, то нечему будет распадаться, когда потребуется энергия. А если вещества не будут распадаться, то где взять энергию для синтеза необходимых веществ?

Таким образом, ассимиляция и диссимиляция — это две стороны единого процесса обмена веществ и энергии, получившего название *метаболизма* (от греч. *metabole* — превращение).

*Ассимиляция. Диссимиляция. Метаболизм.
Синтез белка. Фотосинтез.*

?

1. Почему Солнце — главный источник энергии на Земле?
2. Почему ассимиляция невозможна без диссимиляции, и наоборот?
3. Могли бы какие-либо живые существа выжить на Земле, если бы Солнце погасло?

2.9. Энергетический обмен в клетке

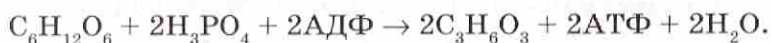


1. Какое строение имеет АТФ?
2. Что такое макроэргическая связь?

АТФ обеспечивает энергией все функции клетки: механическую работу, биосинтез веществ, деление и т. д. В среднем содержание АТФ в клетке составляет около 0,05% ее массы, но в тех клетках, где затраты АТФ велики (например, в клетках печени, поперечно-полосатых мышц), ее содержание может достигать до 0,5%. Синтез АТФ в клетках происходит главным образом в митохондриях. Как вы помните (см. 1.7), на синтез 1 моля АТФ из АДФ необходимо затратить 40 кДж.

Энергетический обмен в клетке подразделяют на три этапа. Первый этап — подготовительный. Во время него крупные пищевые полимерные молекулы распадаются на более мелкие фрагменты. Полисахариды распадаются на ди- и моносахариды, белки — до аминокислот, жиры — до глицерина и жирных кислот. В ходе этих превращений энергии выделяется мало, она рассеивается в виде тепла, и АТФ не образуется.

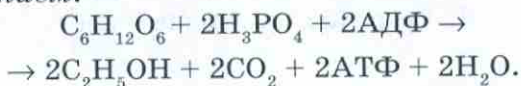
Второй этап — *неполное бескислородное расщепление* веществ. На этом этапе вещества, образовавшиеся во время подготовительного этапа, разлагаются при помощи ферментов в отсутствие кислорода. Разберем этот этап на примере *гликолиза* — ферментативного расщепления глюкозы. Гликолиз происходит в животных клетках и у некоторых микроорганизмов. Суммарно этот процесс можно представить в виде следующего уравнения:



Таким образом, при гликолизе из одной молекулы глюкозы образуются две молекулы трехуглеродной пировиноградной кислоты ($\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$), которая во многих клетках, например в мышечных, превращается в молочную кислоту ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$), причем высвободившейся при этом энергии достаточно для превращения двух молекул АДФ в две молекулы АТФ. Несмотря на кажущуюся простоту, гликолиз — про-

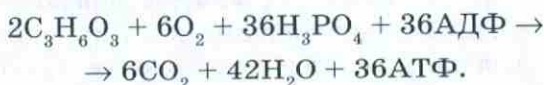
цесс многоступенчатый, насчитывающий более десяти стадий, катализируемых разными ферментами. Только 40% выделившейся энергии запасается клеткой в виде АТФ, а остальные 60% — рассеиваются в виде тепла. Благодаря многостадийности гликолиза выделяющиеся небольшие порции тепла не успевают нагреть клетку до опасного уровня. Гликолиз происходит в цитоплазме клеток.

У большинства растительных клеток и некоторых грибов второй этап энергетического обмена представлен *спиртовым брожением*:



Исходные продукты спиртового брожения те же, что и у гликолиза, но в результате образуется этиловый спирт, углекислый газ, вода и две молекулы АТФ. Есть такие микроорганизмы, которые разлагают глюкозу до ацетона, уксусной кислоты и других веществ, но в любом случае «энергетическая прибыль» клетки составляет две молекулы АТФ.

Третий этап энергетического обмена — *полное кислородное расщепление*, или *клеточное дыхание*. При этом вещества, образовавшиеся на втором этапе, разрушаются до конечных продуктов — CO_2 и H_2O . Этот этап можно представить себе в следующем виде:



Таким образом, окисление двух молекул трехуглеродной кислоты, образовавшихся при ферментативном расщеплении глюкозы, до CO_2 и H_2O приводит к выделению большого количества энергии, достаточного для образования 36 молекул АТФ. Клеточное дыхание происходит на кристах митохондрий. Коэффициент полезного действия этого процесса выше, чем у гликолиза, и составляет приблизительно 55%. В результате полного расщепления одной молекулы глюкозы образуется 38 молекул АТФ.

Для получения энергии в клетках, кроме глюкозы, могут быть использованы и другие вещества: липиды, белки. Однако ведущая роль в энергетическом обмене у большинства организмов принадлежит сахарам.

АТФ. Макроэргическая связь. Неполное кислородное ферментативное расщепление глюкозы. Гликолиз. Полное кислородное расщепление глюкозы. Клеточное дыхание.

?

1. В каких клетках АТФ больше всего?
2. Во сколько раз клеточное дыхание эффективнее гликолиза в энергетическом плане?
3. Каков КПД гликолиза? клеточного дыхания?

2.10. Питание клетки



1. Для чего клетка может использовать поглощаемые ею вещества?
2. Какими способами клетка может питаться?

Все живые организмы, обитающие на Земле, можно подразделить на две группы в зависимости от того, каким образом они получают необходимые им органические вещества.

Первая группа — *автотрофы*, что в переводе с греческого языка означает «самопитающиеся». Они способны самостоятельно создавать все необходимые им для построения клеток и процессов жизнедеятельности органические вещества из неорганических — воды, углекислого газа и других. Энергию для таких сложных превращений они получают либо за счет солнечного света и называются *фототрофами*, либо за счет энергии химических превращений минеральных соединений и в этом случае называются *хемотрофами*. Но и фототрофные, и хемотрофные организмы не нуждаются в поступлении извне органических веществ. К автотрофам относятся все зеленые растения и многие бактерии.

Принципиально иной способ получения необходимых органических соединений у *гетеротрофов*. Гетеротрофы не могут самостоятельно синтезировать такие вещества из неорганических соединений и нуждаются в постоянном поглощении готовых органических веществ извне. Затем они «пе-

рестраивают» полученные извне молекулы для своих нужд. Гетеротрофные организмы находятся в прямой зависимости от продуктов фотосинтеза, производимых зелеными растениями. Например, питаясь капустой или картофелем, мы получаем вещества, синтезированные в клетках растения за счет энергии солнечного света. Если же мы питаемся мясом домашних животных, то надо помнить, что эти животные питаются растительными кормами: травой, зерном и т. п. Таким образом, их мясо построено из молекул, полученных с растительной пищей.

К гетеротрофам относятся грибы, животные и многие бактерии. Некоторые клетки зеленого растения также гетеротрофны: клетки камбия, корня. Дело в том, что клетки этих частей растения не способны к фотосинтезу и питаются за счет органических веществ, синтезированных зелеными частями растения.

*Автотрофы. Гетеротрофы. Фототрофы.
Хемотрофы.*

?

1. За счет чего получают энергию автотрофы?
2. За счет чего получают энергию гетеротрофы?
3. Какие черты делают эвглену зеленую похожей на животное? на растение?

2.11. Фотосинтез и хемосинтез



1. В каких частях растений обычно происходит процесс фотосинтеза?
2. Какие организмы относятся к хемосинтетикам?

Значение фотосинтеза. Из предыдущего раздела очевидно, что фотосинтез — один из важнейших процессов, происходящих в растительной клетке, — лежит в основе всей жизни на Земле.

Любая клетка использует универсальный источник энергии — АТФ. АТФ в растительных клетках образуется непосредственно в процессе фотосинтеза, а другие клетки накапливают АТФ, расщепляя продукт того же фотосинтеза — сахарады. С точки зрения продуктивности нет ничего, что бы могло сравниться с фотосинтезом. Если все сталелитейные заводы мира выпускают в год около 350 млн т стали, а все цементные заводы — 300 млн т цемента, то растения Земли все вместе ежегодно производят 130 000 млн т сахаров! Фотосинтезу мы обязаны и всеми энергетическими ресурсами, которые имеются в распоряжении человечества. Ведь и уголь, и нефть, и торф — все это прямо или косвенно возникло за счет фотосинтеза.

Фотосинтез происходит в клетках зеленых растений, в хлоропластах. Процесс фотосинтеза включает в себя две последовательные фазы: световую и темновую (рис. 32).

Световая фаза фотосинтеза. Квант света, падающий на лист, поглощается молекулой хлорофилла. В результате этого молекула на очень короткое время переходит в возбужденное состояние: один из электронов молекулы хлорофилла (e) получает избыток энергии. Возбужденный электрон перемещается по цепи сложных органических соединений, теряя энергию, которая расходуется на синтез АТФ из АДФ и фосфата. Этот процесс очень эффективен, и в хлоропласте образуется АТФ приблизительно в 30 раз больше, чем в митохондриях тех же растений. Потеряв избыток энергии, электрон возвращается к молекуле хлорофилла, которая теперь способна захватить новый квант света.

Так как описываемые реакции происходят в водных растворах, то значительная часть возбужденных электронов захватывается продуктами диссоциации H_2O — ионами H^+ . Ион водорода получает избыток энергии и связывается со специальными молекулами-переносчиками. Освободившиеся ионы гидроксила OH^- взаимодействуют друг с другом, в результате чего образуются вода и молекулярный кислород:



В этом случае к молекуле хлорофилла возвращается электрон гидроксила.

Процесс разложения воды под действием энергии солнечного света получил название *фотолиза*. Таким образом,

кислород, который выделяется в процессе фотосинтеза в атмосферу, образуется в результате фотолиза.

На этом световая фаза заканчивается, и дальнейшие процессы фотосинтеза могут идти и без солнечного освещения.

Во время световой фазы образуются богатые энергией молекулы и ионы водорода, необходимые для темновой фазы фотосинтеза.

Темновая фаза также протекает в пластидах. В процессе реакций этой фазы происходит захват специальным веществом молекул углекислого газа (CO_2) из внешней среды. Путем целого ряда последовательных биохимических превращений из углекислого газа и водорода образуется шестиуг-

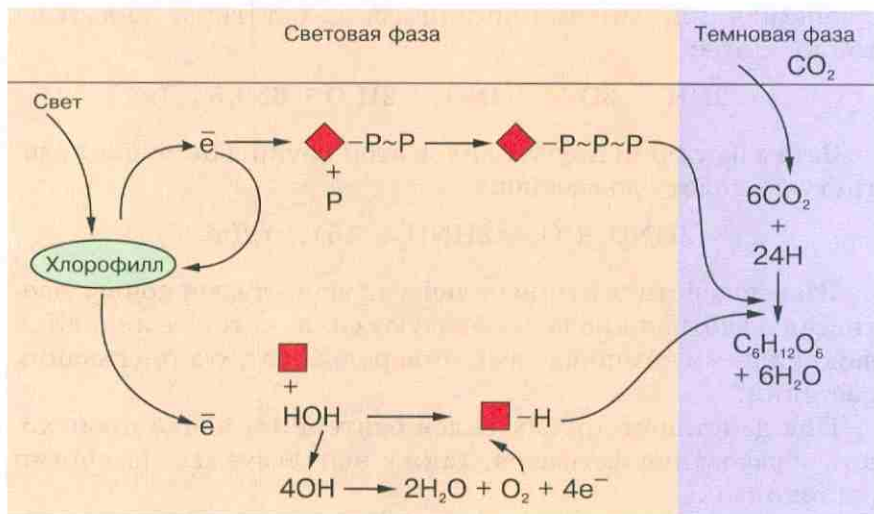


Рис. 32. Схема строения листа и фотосинтез

леродный сахар — глюкоза и воспроизводится вещество, способное снова захватывать CO_2 .

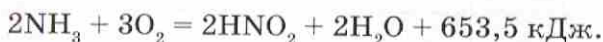
В процессе темновой фазы поглощается углекислый газ и синтезируется глюкоза. Реакции темновой фазы обеспечиваются энергией, запасенной во время световой фазы.

Фотосинтез очень продуктивен, но хлоропласты листа захватывают для участия в этом процессе всего 1 квант света из 10 000. Тем не менее этого достаточно для того, чтобы зеленое растение могло синтезировать 1 г глюкозы в час с поверхности листьев площадью 1 м².

Хемосинтез. Многие виды бактерий, способные синтезировать необходимые им органические соединения из неорганических за счет энергии химических реакций окисления, происходящих в клетке, относятся к хемотрофам. Захватываемые бактерией вещества окисляются, а образующаяся энергия используется на синтез сложных органических молекул из CO_2 и H_2O . Этот процесс носит название *хемосинтеза*.

Важнейшую группу хемосинтезирующих организмов представляют собой *нитрифицирующие бактерии*. Исследуя их, С. Н. Виноградский в 1887 г. открыл процесс хемосинтеза.

Эти бактерии, обитая в почве, окисляют аммиак, образующийся при гниении органических остатков, до азотистой кислоты:



Затем бактерии других видов этой группы окисляют азотистую кислоту до азотной:



Взаимодействуя с минеральными веществами почвы, азотистая и азотная кислоты образуют соли, которые являются важнейшими компонентами минерального питания высших растений.

Под действием других видов бактерий в почве происходит образование фосфатов, также используемых высшими растениями.

Итак, хемотрофы, как и все автотрофные организмы, самостоятельно синтезируют необходимые органические

вещества. От фототрофных зеленых растений их отличает полная независимость от солнечного света как источника энергии.

Световая фаза фотосинтеза.

Темновая фаза фотосинтеза. Фотолиз воды.

Хемосинтез. Хемотрофы.

Нитрифицирующие бактерии.

Серобактерии.

?

1. Сколько глюкозы, синтезируемой в процессе фотосинтеза, приходится на каждого из 4 млрд жителей Земли в год?
2. Откуда берется кислород, выделяемый в процессе фотосинтеза?
3. В чем смысл световой фазы фотосинтеза? темновой фазы?
4. Почему для высших растений необходимо присутствие в почве хемосинтезирующих бактерий?

2.12. Гетеротрофы



1. Какие организмы на Земле питаются гетеротрофно?
 2. Какие питательные вещества необходимы животным? растениям?
-

Как вы уже знаете, гетеротрофные клетки и организмы нуждаются в поступлении извне готовых органических веществ: аминокислот, сахаров, липидов, витаминов. В зависимости от того, откуда гетеротрофные организмы получают питательные вещества, их делят на группы. *Сапротиты* питаются мертвыми органическими остатками. Таков тип питания у бактерий гниения, многих грибов. *Паразиты* существуют только на живых организмах, нанося им вред. Примерами являются болезнетворные бакте-

рии, грибы — паразиты растений, животных и человека. Третья группа гетеротрофов — *голозои*. Голозойное питание включает три этапа: поедание, переваривание и всасывание переваренных веществ. Очевидно, что голозойное питание чаще наблюдается у многоклеточных животных, имеющих пищеварительную систему. Голозойно питающихся животных можно подразделить на плотоядных, растительноядных и всеядных.

*Сапрофиты. Паразиты.
Голозойное питание.*

?

1. В чем различие между сапрофитами и паразитами?
2. Может ли бактерия питаться голозойным путем?

2.13. Синтез белков в клетке



1. Из чего состоят белки?
2. Что такое аминокислота?

Важнейшим процессом ассимиляции в клетке является синтез присущих ей белков. Каждая клетка содержит тысячи белков, в том числе и присущих только данному виду клеток. Так как в процессе жизнедеятельности все белки рано или поздно разрушаются, клетка должна непрерывно синтезировать белки для восстановления своих мембран, органоидов и т. п. Кроме того, многие клетки «изготавливают» белки для нужд всего организма, например клетки желез внутренней секреции, выделяющие в кровь белковые гормоны. В таких клетках синтез белка идет особенно интенсивно.

Синтез белка требует больших затрат энергии. Источником этой энергии, как и для всех клеточных процессов, является АТФ.

Многообразие функций белков определяется их первичной структурой, т. е. последовательностью аминокислот в их молекуле. В свою очередь наследственная информация о первичной структуре белка заключена в последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК. Участок ДНК, в котором содержится информация о первичной структуре одного белка, называется *геном*. В одной хромосоме находится информация о структуре многих сотен белков.

Генетический код. Каждой аминокислоте белка в ДНК соответствует последовательность из трех расположенных друг за другом нуклеотидов — *триплет*. К настоящему времени составлена карта *генетического кода*, т. е. известно, какие триплетные сочетания нуклеотидов ДНК соответствуют той или иной из 20 аминокислот, входящих в состав белков (рис. 33). Как известно, в состав ДНК могут входить че-

Аминокислота	Кодирующие триплеты (кодоны)
Аланин	ГЦУ ГЦЦ ГЦА ГЦГ
Аргинин	ЦГУ ЦГЦ ЦГА ЦГГ АГА АГГ
Аспарагин	AAU AAC
Аспарагиновая кислота	GAU GAC
Валин	GUU GUC GUA GUG
Гистидин	CAU CAC
Глицин	GGU GGC GGA GGG
Глутамин	CAA CAG
Глутаминовая кислота	GAA GAG
Изолейцин	AUU AUC AUA
Лейцин	CUU CUC CUA CUG UUA UUG
Лизин	AAA AAG
Метионин	AUG
Пролин	CCU CCC CCA CCG
Серин	UCU UCC UCA UCG AGU AGC
Тирозин	UAU UAC
Треонин	ACU ACC ACA ACG
Триптофан	UGG
Фенилаланин	UUU UUC
Цистеин	UGU UGC
Знаки препинания	UAA UAG UGA

Рис. 33.
Таблица
генетического
кода

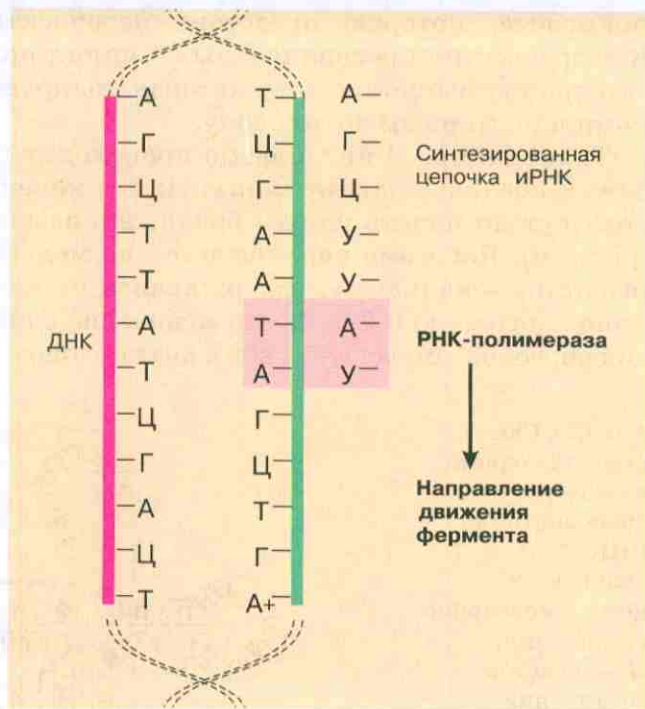
тыре азотистых основания: аденин (А), гуанин (Г), тимин (Т) и цитозин (Ц). Число сочетаний из 4 по 3 составляет: $4^3 = 64$, т. е. можно закодировать 64 различные аминокислоты, тогда как кодируется только 20 аминокислот. Оказалось, что многим аминокислотам соответствует не один, а несколько различных триплетов — *кодона*. Предполагается, что такое свойство генетического кода повышает надежность хранения и передачи генетической информации при делении клеток. Например, аминокислоте аланину соответствуют 4 кодона: ЦГА, ЦГГ, ЦГТ, ЦГЦ, и получается, что случайная ошибка в третьем нуклеотиде не может отразиться на структуре белка — все равно это будет кодон аланина.

Так как в молекуле ДНК содержатся сотни генов, то в ее состав обязательно входят триплеты, являющиеся «знаками препинания» и обозначающие начало и конец того или иного гена.

Очень важное свойство генетического кода — *специфичность*, т. е. один триплет всегда обозначает только одну-единственную аминокислоту. Генетический код *универсален* для всех живых организмов от бактерий до человека.

Транскрипция. Носителем всей генетической информации является ДНК, расположенная в ядре клетки. Сам же синтез белка происходит в цитоплазме клетки, на рибосомах. Из ядра в цитоплазму информация о структуре белка поступает в виде информационной РНК (иРНК). Для того чтобы синтезировать иРНК, участок ДНК «разматывается», деспирализуется, а затем по принципу комплементарности на одной из цепочек ДНК с помощью ферментов синтезируются молекулы РНК (рис. 34). Это происходит следующим образом: против, например, гуанина молекулы ДНК становится цитозин молекулы РНК, против аденина молекулы ДНК — урацил РНК (вспомните, что в РНК в нуклеотиды вместо тимина включен урацил), напротив тимина ДНК — аденин РНК и напротив цитозина ДНК — гуанин РНК. Таким образом, формируется цепочка иРНК, представляющая собой точную копию второй цепи ДНК (только тимин заменен на урацил). Таким образом, информация о последовательности нуклеотидов какого-либо гена ДНК «переписывается» в последовательность нуклеотидов иРНК. Этот процесс получил название *транскрипции*. У прокариот синтезированные молекулы иРНК сразу же могут взаи-

Рис. 34. Схема образования информационной РНК по матрице ДНК (транскрипция)



модействовать с рибосомами, и начинается синтез белка. У эукариот иРНК взаимодействует в ядре со специальными белками и переносится через ядерную оболочку в цитоплазму.

В цитоплазме обязательно должен быть набор аминокислот, необходимых для синтеза белка. Эти аминокислоты образуются в результате расщепления пищевых белков. Кроме того, та или иная аминокислота может попасть к месту непосредственного синтеза белка, т. е. в рибосому, только прикрепившись к специальной транспортной РНК (тРНК).

Транспортные РНК. Для переноса каждого вида аминокислот в рибосомы нужен отдельный вид тРНК. Так как в состав белков входят около 20 аминокислот, существует столько же видов тРНК. Строение всех тРНК сходно (рис. 35). Их молекулы образуют своеобразные структуры, напоминающие по форме лист клевера. Виды тРНК обязательно различаются по триплету нуклеотидов, расположенному «на верхушке». Этот триплет, получивший название *антикодона*, по генетическому коду соответствует той ами-

нокислоте, которую предстоит переносить этой тРНК. К «черешку листа» специальный фермент прикрепляет обязательно ту аминокислоту, которая кодируется триплетом, комплементарным антикодону.

Трансляция. В цитоплазме происходит последний этап синтеза белка — *трансляция*. На тот конец иРНК, с которого нужно начать синтез белка, нанизывается рибосома (рис. 36). Рибосома перемещается по молекуле иРНК прерывисто, «скачками», задерживаясь на каждом триплете приблизительно 0,2 с. За это мгновение одна тРНК из многих способна «опознать» своим антикодоном триплет, на ко-

Рис. 35. Схема строения одной из молекул транспортной РНК: А, В, В, Г — участки комплементарного соединения, Д — участок соединения с аминокислотой, Е — антикодон

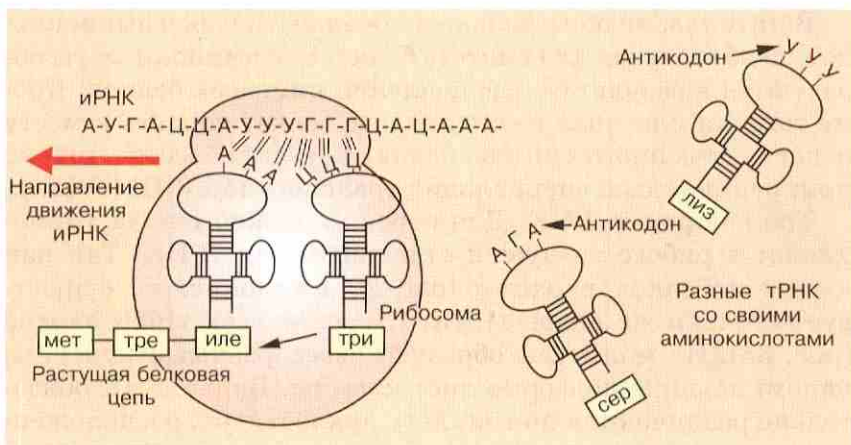
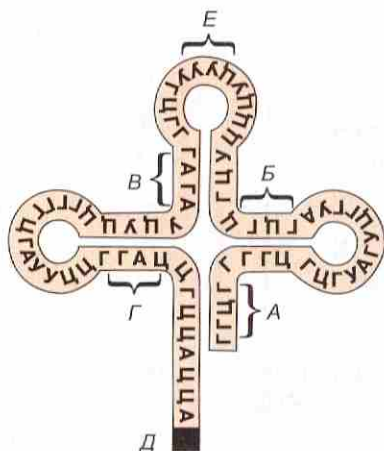


Рис. 36. Схема синтеза белка в рибосоме (трансляция)

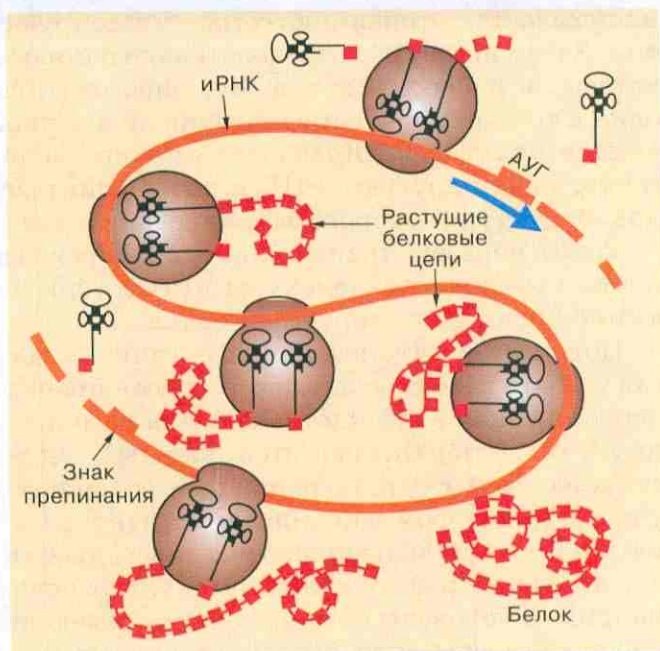


Рис. 37. Схема синтеза белка на полисоме

тором находится рибосома. И если антикодон комплементарен этому триплету иРНК, аминокислота отсоединяется от «черешка листа» и присоединяется пептидной связью к растущей белковой цепочке (рис. 37). В этот момент рибосома сдвигается по иРНК на следующий триплет, кодирующий очередную аминокислоту синтезируемого белка, а очередная тРНК «подносит» необходимую аминокислоту, наращивающую растущую цепочку белка. Эта операция повторяется столько раз, сколько аминокислот должен содержать «строящийся» белок. Когда же в рибосоме оказывается один из триплетов, являющийся «стоп-сигналом» между генами, то ни одна тРНК к такому триплету присоединиться не может, так как антикодонов к ним у тРНК не бывает. В этот момент синтез белка заканчивается. Все описываемые реакции происходят за очень маленькие промежутки времени. Подсчитано, что на синтез довольно крупной молекулы белка уходит всего около двух минут.

Клетке необходима не одна, а много молекул каждого белка. Поэтому как только рибосома, первой начавшая синтез белка на иРНК, продвинется вперед, за ней на ту же иРНК

нанизывается вторая рибосома, синтезирующая тот же белок. Затем на иРНК последовательно нанизываются третья, четвертая рибосомы и т. д. Все рибосомы, синтезирующие один и тот же белок, закодированный в данной иРНК, называются *полисомой*. Когда синтез белка окончен, рибосома может найти другую иРНК и начать синтезировать тот белок, структура которого закодирована в новой иРНК.

Таким образом, трансляция — это перевод последовательности нуклеотидов молекулы иРНК в последовательность аминокислот синтезируемого белка.

Подсчитано, что все белки организма млекопитающего могут быть закодированы всего двумя процентами ДНК, содержащимися в его клетках. А для чего же нужны остальные 98% ДНК? Оказывается, каждый ген устроен гораздо сложнее, чем считали раньше, и содержит не только тот участок, в котором закодирована структура какого-либо белка, но и специальные участки, способные «включать» или «выключать» работу каждого гена. Вот почему все клетки, например человеческого организма, имеющие одинаковый набор хромосом, способны синтезировать различные белки: в одних клетках синтез белков идет с помощью одних генов, а в других — задействованы совсем иные гены. И так, *в каждой клетке реализуется только часть генетической информации, содержащейся в ее генах.*

Синтез белка требует участия большого числа ферментов. И для каждой отдельной реакции белкового синтеза требуются специализированные ферменты.

*Ген. Генетический код. Триплет.
Кодон. Транскрипция. Антикодон.
Трансляция. Полисома.*

?

1. Что такое транскрипция?
2. Что такое трансляция?
3. Где происходят транскрипция и трансляция?
4. Что такое полисома?
5. Почему в различных клетках какого-либо организма «работает» только часть генов?
6. Может ли существовать клетка, не способная к самостоятельному синтезу веществ?

2.14. Деление клетки. Митоз



1. В каких частях растения клетки делятся наиболее часто?
2. Как размножается амеба?

Размножение — одно из важнейших свойств живых организмов. К размножению способны все живые организмы без исключения. Только размножение, т. е. воспроизведение себе подобных, позволяет сохраняться всем видам бактерий, грибов, растений, животных.

Способы размножения у различных организмов могут сильно отличаться друг от друга, но в основе любого вида размножения лежит деление клеток.

Деление клеток, впрочем, происходит не только при размножении организмов, как, например, у одноклеточных существ — простейших и бактерий. Развитие многоклеточного организма из одной-единственной клетки включает в себя миллиарды делений клеток. Кроме того, продолжительность жизни многоклеточного организма превышает время жизни большинства составляющих его клеток. Поэтому почти все клетки многоклеточных организмов должны делиться, чтобы заменять погибающие клетки. Интенсивное деление клеток необходимо и при ранениях организма, когда нужно восстановить поврежденные органы и ткани.

Основным способом деления клетки является *митоз*. Митоз включает в себя ряд последовательных фаз, в результате которых сначала разделяется ядро, а затем происходит деление цитоплазмы. В результате получаются две абсолютно одинаковые клетки с наборами хромосом, идентичными набору родительской клетки. Последовательность всех процессов, происходящих в клетке с момента ее возникновения в результате митоза до следующего деления или гибели, называется *жизненным циклом клетки*. Часть жизненного цикла клетки от ее возникновения и до начала следующего деления называется *интерфазой*. Именно в интерфазу происходит подготовка к делению. Важнейшим процессом при этом является удвоение ДНК, после которого каждая хромосома состоит из двух идентичных половинок — *хроматид*.

Удвоение ДНК получило название *редупликации*. При редупликации водородные связи между комплементарными азотистыми основаниями аденином — тиминном и гуанином — цитозином разрываются специальным ферментом (рис. 38). Нити, составляющие двойную спираль ДНК, расходятся, и к каждому нуклеотиду обеих нитей последовательно подстраиваются комплементарные нуклеотиды. Подстраивающиеся нуклеотиды соединяются в две нити ДНК, каждая из которых представляет копию разошедшихся нитей ДНК. Таким образом, в результате редупликации возникают две одинаковые двойные спирали ДНК, состоящие из нити «материнской» молекулы и вновь синтезируемой нити. В процессе удвоения ДНК участвует много ферментов. И как на любой синтез в клетке, на редупликацию затрачивается энергия АТФ.

Кроме редупликации ДНК в интерфазе увеличивается число многих органоидов, например митохондрий, происходит запасание АТФ для процессов последующего деления и удвоение числа центриолей.

Процесс митотического деления начинается с *профазы* (рис. 39). Ядро несколько увеличивается в объеме, хромосомы начинают скручиваться (спирализоваться), и теперь они видны под микроскопом. К концу профазы предварительно удвоившиеся в интерфазу центриоли клеточного центра расходятся к полюсам клетки (если речь идет о делении животной клетки, так как центриоли в клеточном центре у высших растений не обнаружены). Начинает формироваться *веретено деления*. Исчезают ядрышки, ядерная оболочка разрушается, и ядро перестает существовать.

Наступает следующий этап митоза — *метафаза*. Хромосомы максимально скручены. Хорошо видно, что каждая из них имеет определенную, отличную от других, форму и представляет собой вытянутое тельце, состоящее из двух одинаковых частей — хроматид. Хроматиды соединены между собой в единую хромосому в области так называемой *центромеры* (рис. 40). Во время метафазы хромосомы, каждая из которых состоит из двух дочерних хроматид, располагаются в экваториальной плоскости клетки. Нити веретена деления, идущие от центриолей, прикрепляются к каждой хромосоме в области центромеры.

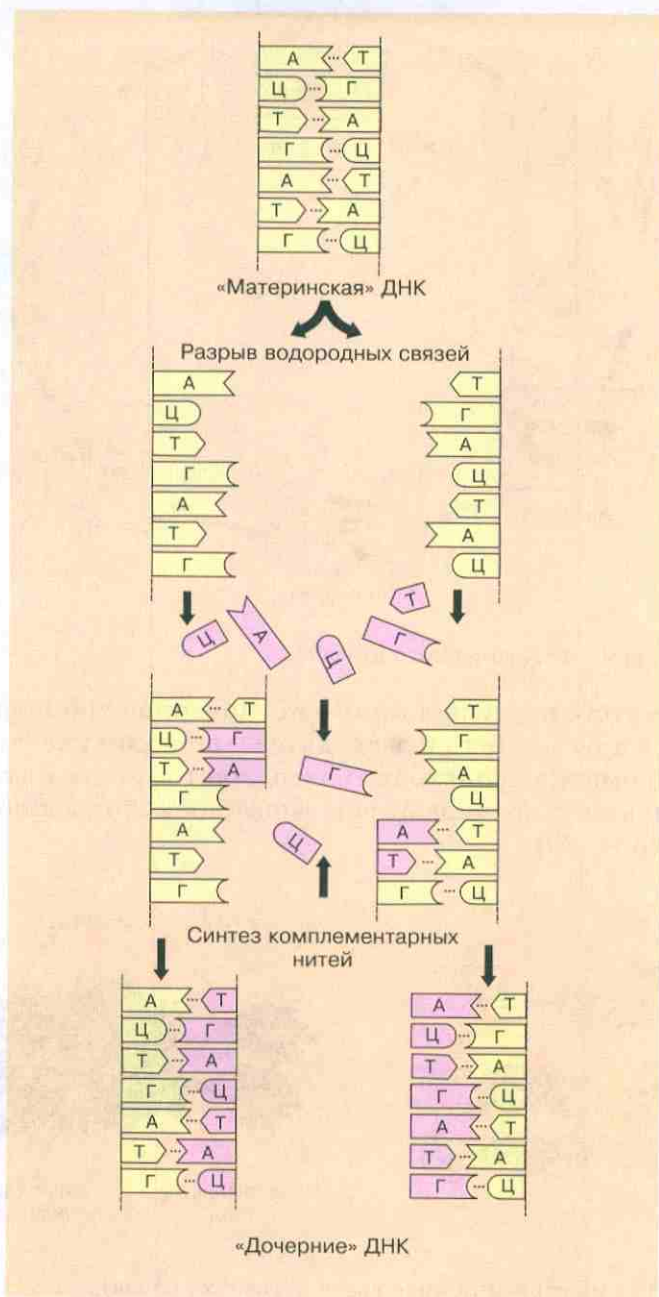


Рис. 38. Схема удвоения ДНК (редупликация)

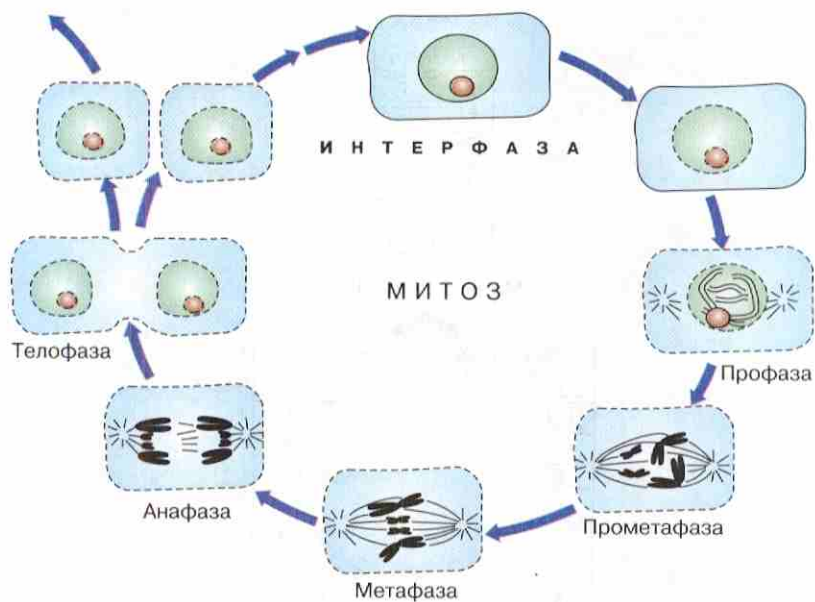


Рис. 39. Схема митотического цикла

После этого наступает *анафаза*. Дочерние хроматиды отделяются друг от друга и расходятся к полюсам клетки. Движение хроматид происходит благодаря тому, что нити веретена деления укорачиваются и тащат хроматиды к полюсам клетки (рис. 39).



Рис. 40. Схема строения интерфазной (вверху слева) и метафазной (внизу слева) хромосом. Справа — электронная микрофотография хромосомы в метафазе

Последняя фаза митоза — *телофаза* (рис. 39). Хроматиды достигают полюсов клетки и раскручиваются. Вокруг них вновь формируются ядерные оболочки, и в результате оформляются два ядра. Одновременно с этим происходит деление цитоплазмы, органоиды распределяются между двумя клетками. И наконец, две одинаковые клетки отделяются друг от друга.

В среднем процесс деления клетки от начала профазы до конца телофазы длится 1—2 ч, а каждая из этих фаз продолжается 15—20 мин. Интерфаза у многоклеточных организмов обычно длится гораздо дольше. Есть клетки, например нейроны, которые вообще не способны к делению и выполняют свои функции от рождения до смерти.

***Митоз. Жизненный цикл клетки. Интерфаза.
Профаза. Метафаза. Анафаза. Телофаза.
Редупликация. Хроматиды. Центромера.
Веретено деления.***

?

1. В чем биологическое значение митоза?
2. Какие фазы включает в себя митоз?
3. Что такое редупликация ДНК?
4. Что происходит в интерфазу для подготовки деления клетки?
5. В какой фазе происходит деление цитоплазмы клетки?

Краткое содержание главы

Клетка — элементарная единица жизни на Земле. Она обладает всеми признаками живого организма. Все организмы делятся на безъядерные, или прокариоты, и ядерные, или эукариоты.

Клетка покрыта наружной мембраной, внутреннее содержимое клетки называется цитоплазмой. В цитоплазме находится ядро, содержащее наследственный материал, и органоиды, выполняющие различные функции. Важнейшие органоиды: эндоплазматическая сеть, рибосомы, комплекс Гольджи, лизосомы, митохондрии, пластиды, клеточный центр.

Совокупность всех реакций, протекающих в живой клетке, называется метаболизмом. Реакции биологического син-

теза веществ в клетке — ассимиляция. Реакции распада с выделением энергии — диссимиляция. Ассимиляция и диссимиляция — это взаимосвязанные процессы.

АТФ — универсальное энергетическое вещество, обеспечивающее энергией все процессы в клетке. АТФ образуется в результате неполного, ферментативного расщепления или в результате полного, кислородного распада органических веществ до CO_2 и H_2O (клеточное дыхание).

По способу получения органических веществ все клетки делятся на автотрофов и гетеротрофов. Автотрофы способны самостоятельно синтезировать необходимые им вещества за счет энергии Солнца (фототрофы) или за счет энергии, выделяющейся при окислении неорганических веществ (хемотрофы).

Основной источник энергии для живых существ на Земле — Солнце. Энергия Солнца превращается в энергию АТФ в пластидах зеленых растений в результате фотосинтеза. В световую фазу фотосинтеза запасается энергия, расходуемая в темновую фазу на синтез глюкозы из CO_2 и H_2O . В световую фазу фотосинтеза происходит фотолиз воды, в результате чего в атмосферу выделяется кислород.

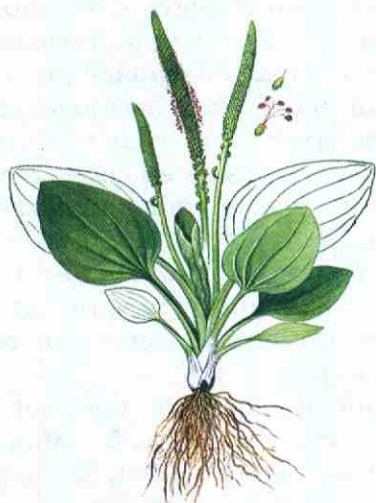
Гетеротрофные организмы подразделяются на сапрофитов, паразитов и голозойных. Сапрофиты питаются органическими веществами мертвых организмов, а паразиты — органическими веществами живых организмов. Голозойным свойственны более сложные способы поглощения и усвоения питательных веществ.

Важнейшим процессом ассимиляции является синтез белков. Информация о структуре любого белка заключена в триплетных сочетаниях нуклеотидов ДНК. Участок ДНК, в котором закодирована информация о структуре одного белка, называется геном. Транскрипция — синтез иРНК. В рибосомах, нанизывающихся на иРНК, происходит синтез белка. Процесс перевода информации из последовательности нуклеотидов иРНК в последовательность аминокислот белка называется трансляцией. В каждой клетке многоклеточного организма содержится полный набор генов, однако клетка использует лишь часть генетической информации.

Основной способ деления клеток — митоз, состоящий из профазы, метафазы, анафазы и телофазы; промежутков между делениями клетки — интерфаза.

В клетках тела, как правило, диплоидный ($2n$) набор хромосом.

3 Организменный уровень



Из этой главы вы узнаете:

- *какими способами размножаются живые организмы;*
 - *как развивается эмбрион у животных;*
 - *что такое изменчивость;*
 - *почему дети не всегда похожи на родителей;*
 - *каковы законы наследственности и как ими пользуется человек в своей практической деятельности.*
-

3.1. Бесполое размножение организмов



1. Все ли живые существа способны к размножению?
2. Какой вид размножения появился первым?

Как вы уже знаете, способность к размножению — важнейшее свойство живых организмов. Древнейшим способом размножения на Земле было *бесполое размножение*. При бесполом размножении одна или несколько клеток тела родительской особи делятся. При этом образуются одна или несколько дочерних особей, во всем схожих с родительской. Бесполое размножение у различных живых организмов может проходить по-разному.

У бактерий перед размножением единственная хромосома удваивается, клетка удлиняется, и между расходящимися к ее полюсам хромосомами образуется перегородка — получаются две клетки (рис. 41).

Многие простейшие и одноклеточные водоросли делятся митозом, образуя две клетки из одной, например амебы, некоторые инфузории, эвглена зеленая, хламидомонада.

Другой способ бесполого размножения — *почкование*. Почкованием размножаются многие низшие грибы, например дрожжи (рис. 42), и даже многоклеточные животные, например пресноводная гидра (рис. 43). При почковании дрожжей на клетке образуется утолщение, постепенно превращающееся в полноценную дочернюю клетку дрожжей. На теле гидры несколько клеток начинают делиться, и постепенно на материнской особи вырастает маленькая гидра,

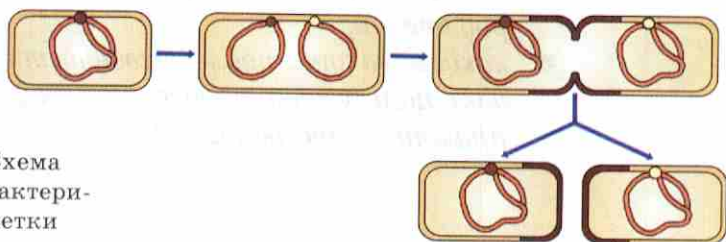


Рис. 41. Схема деления бактериальной клетки

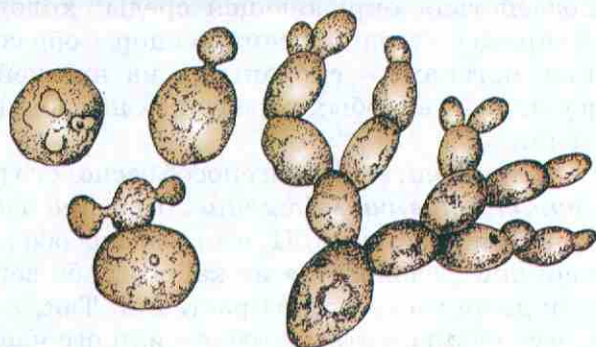


Рис. 42. Размножение дрожжей почкованием

у которой образуются рот со щупальцами и кишечная полость, связанная с кишечной полостью «матери». Если материнская особь поймает добычу, то часть питательных веществ попадает и в маленькую гидру, и, наоборот, дочерняя особь, охотясь, также «делится» пищей с материнской особью. Вскоре маленькая гидра отделяется от материнского организма и обычно располагается рядом с ней. Теперь «мать» и «дочь» будут конкурировать за пищу. Вот почему гидры размножаются почкованием только тогда, когда условия существования хорошие и пищи достаточно.

Некоторые животные могут размножаться *делением тела* на несколько частей, причем из каждой части вырастает полноценный организм, во всем сходный с родительской особью (плоские и кольчатые черви, иглокожие).

Большинство растений способны к бесполому размножению с помощью *спор* (не путайте эти споры со спорами бактерий!). Споры растений — это гаплоидные клетки, покрытые специальной оболочкой, защищающей их от вредного

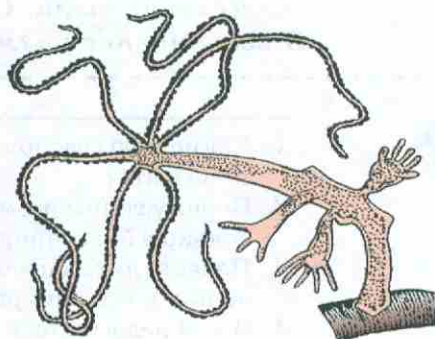


Рис. 43. Почкование гидры

воздействия окружающей среды: холода, засухи и т. п. Например, у папоротников споры образуются в специальных органах — спорангиях на нижней стороне листьев, а у мхов — в особых коробочках на верхушках женских растений.

И наконец, еще один способ бесполого размножения — *вегетативное размножение*, особенно часто встречающееся у высших растений. При таком способе размножения целое растение развивается из какого-либо вегетативного органа или даже части органа растения. Так, например, растения могут размножаться стеблем или его частью и видоизменениями: отводками (смородина), черенками (тополь), усами (земляника), клубнями (картофель), корневищами (ирис), луковичами (лук, чеснок, тюльпан). Возможно также вегетативное размножение корнями (малина, слива) и корнеклубнями (георгин). В определенных условиях растение может размножаться и черенком листа (бегония).

Бесполое размножение позволяет быстро увеличивать численность вида в благоприятных условиях. Но при таком способе размножения все потомки имеют абсолютно такой же генотип, как и родительская особь: ведь они развиваются из клеток тела этой особи. Следовательно, при бесполом размножении не происходит увеличения генетического разнообразия, которое может оказаться очень полезным при изменении условий существования вида. Вот по этой причине подавляющее большинство живых организмов на Земле периодически или постоянно размножается половым путем.

Бесполое размножение. Почкование.

Деление тела. Споры.

Вегетативное размножение.

?

1. Какие виды бесполого размножения вы можете назвать?
2. Почему гидры размножаются бесполом путем только в благоприятных условиях?
3. Перечислите способы вегетативного размножения у высших растений.
4. В чем недостаток бесполого размножения?

3.2. Половое размножение организмов



1. У каких простейших появился половой процесс?
2. Какие растения называются двудомными?

При половом размножении каждое следующее поколение возникает в результате слияния двух специализированных клеток — *гамет*. Гаметы возникают в специальных органах родительских особей, мужской и женской. Сущность полового размножения заключается в слиянии генетической информации родителей, благодаря чему генетическое разнообразие в потомстве увеличивается, а значит, растет и жизнеспособность по сравнению с родительской.

По-видимому, исторически более древние обоеполые животные — *гермафродиты*, такие, как кишечнополостные, плоские и кольчатые черви, некоторые моллюски. Но в ходе эволюции стали преобладать раздельнополые виды. Иногда при половом процессе две особи просто обмениваются генетическим материалом. Число особей при этом не увеличивается, однако в результате каждая из них получает новый генетический материал. Так, например, происходит половой процесс у инфузорий.

Половые клетки — гаметы формируются у животных в половых железах: у самцов в *семенниках* образуются *сперматозоиды*, а у самок в *яичниках* — *яйцеклетки*.

Яйцеклетки неподвижны, обычно достигают крупных размеров и содержат запасы питательных веществ. Диаметр яйцеклетки млекопитающих около 0,1 мм; яйцеклетки рыб (икринки) содержат больше питательных веществ и значительно крупнее. Еще крупнее яйцеклетки у птиц. Яйцеклетка курицы, богатая желтком, имеет диаметр около 3 см (рис. 44). А самая большая яйцеклетка у сельдевой акулы — ее диаметр более 23 см!

Сперматозоиды очень малы и подвижны. У млекопитающих сперматозоид состоит из головки (ее длина около 5—10 мкм), шейки и хвостика (их общая длина около 60 мкм) (рис. 45). В головке расположено ядро, содержащее

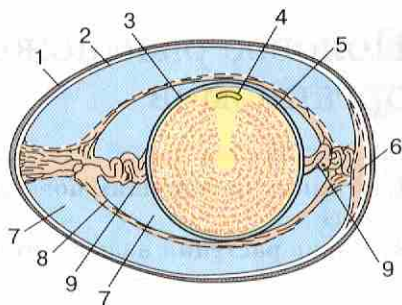


Рис. 44. Схема строения куриного яйца: 1 — скорлупа, 2 — подскорлуповая оболочка, 3 — желток, 4 — зародышевый диск, 5 — желточная оболочка, 6 — воздушная камера, 7 — белковая оболочка, 8 — волокнистый слой белковой оболочки, 9 — халазы (белковые шнуры, удерживающие яйцеклетку в определенном положении)

гаплоидный набор хромосом. Цитоплазмы в головке очень мало. В шейке находятся небольшое число митохондрий, вырабатывающих энергию для движения сперматозоида, и центриоль, обеспечивающая колебания жгутика, лежащего вдоль оси хвостика.

Развитие половых клеток. Процесс образования половых клеток — сперматозоидов и яйцеклеток называется *гаметогенезом*. В нем выделяют несколько стадий (рис. 46).

Первая стадия — *период размножения*. В это время первичные половые клетки делятся митозом и их количество увеличивается. У самцов млекопитающих (в том числе и у человека) этот процесс идет с момента наступления половой зрелости до глубокой старости. А вот у самок млекопитающих, в том числе у женщин, первичные половые клетки делятся только в период внутриутробного развития плода и до наступления полового созревания сохраняются в покое.



Рис. 45. Строение сперматозоида млекопитающего

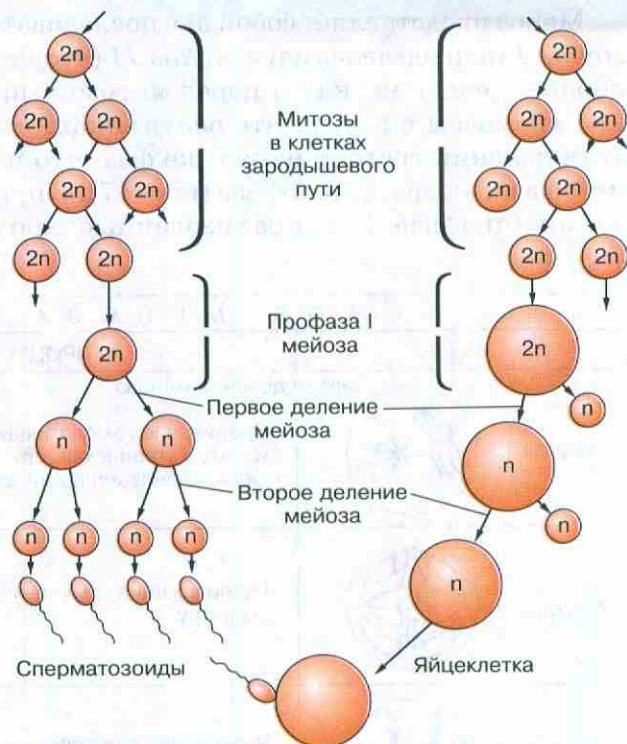


Рис. 46. Схема гаметогенеза: развитие сперматозоидов (слева) и яйцеклеток (справа)

Вторая стадия — *период роста* будущих гамет. Будущие сперматозоиды увеличиваются незначительно, ведь они очень малы, а вот будущие яйцеклетки увеличиваются во много раз.

Третья стадия формирования гамет — *период созревания*, или *мейоз*.

Мейоз — это особый вид деления клеток, при котором число хромосом в дочерних клетках уменьшается в два раза. Это необходимо для сохранения постоянства числа хромосом в клетках организма при половом размножении. Поясним на примере. В каждой клетке тела человека диплоидный набор хромосом ($2n$) равен 46. Новый человеческий организм возникает в момент слияния яйцеклетки и сперматозоида. Для того чтобы в клетках будущего ребенка также было по 46 хромосом, необходимо, чтобы в яйцеклетке и сперматозоиде было по гаплоидному набору хромосом ($1n$), т. е. по 23 хромосомы.

Мейоз представляет собой два последовательных деления: *мейоз I* (первое деление) и *мейоз II* (второе деление). Перед первым делением, как и перед митозом, происходит удвоение хромосом в результате редупликации ДНК. Каждое из этих делений состоит из тех же фаз, что и митоз: профазы, метафазы, анафазы, телофазы (рис. 47). В профазу первого деления (профаза I) спирализованные хромосомы находят

ХОД МЕЙОЗА	
ФАЗЫ	ПРОЦЕССЫ
Первое деление мейоза	
Профаза I 	Спаривание гомологичных хромосом (одна из них материнская, другая – отцовская). Образование аппарата деления
Метафаза I 	Расположение гомологичных хромосом по экватору
Анафаза I 	Разделение пар хромосом (состоящих из двух хроматид) и перемещение их к полюсам
Телофаза I 	Образование дочерних клеток
Второе деление мейоза	
Профаза II Метафаза II Анафаза II 	Возникшие в телофазе I дочерние клетки проходят митотическое деление. Центромеры делятся, хроматиды хромосом обеих дочерних клеток расходятся к их полюсам
Телофаза II 	Образование четырех гаплоидных ядер или клеток (образование спор у мхов и папоротников)

Рис. 47. Схема мейоза

«свою пару», т. е. гомологичную хромосому, и тесно с ней скручиваются. Этот процесс кратковременного соединения гомологичных хромосом получил название *конъюгации*. Во время конъюгации в гомологичных хромосомах могут происходить поперечные разрывы и хромосомы обмениваются одинаковыми участками. Это явление получило название *перекреста* хромосом (см. 3.8). После конъюгации гомологичные хромосомы расходятся и наступает метафаза I, во время которой в экваториальной плоскости располагаются друг напротив друга гомологичные хромосомы, каждая из которых состоит из двух хроматид. Затем во время анафазы I к полюсам клетки расходятся гомологичные хромосомы, состоящие из двух хроматид, а не половинки хромосом — хроматиды, как во время митоза.

Затем следует короткая телофаза I, и сразу вслед за ней начинается мейоз II, т. е. второе деление мейоза, при котором делятся те две клетки, которые образовались при мейозе I. В метафазу II по экваторам этих двух клеток располагается вдвое меньше хромосом, чем в метафазу I. В анафазу II происходит расхождение к полюсам клеток дочерних хроматид, составлявших раньше единую хромосому. В результате мейоза из одной диплоидной клетки ($2n$) образуется четыре гаплоидные клетки ($1n$).

Итак, сущность мейоза состоит в том, что после одного удвоения хромосом происходят два последовательных деления клетки и каждая половая клетка получает только n хромосом. Кроме того, при перекресте во время конъюгации в гаметах возникают новые комбинации генов. У мужских особей все четыре гаплоидные клетки, образующиеся в результате мейоза, превращаются в сперматозоиды. При этом ядро будущего сперматозоида уменьшается, появляется жгутик, а митохондрии располагаются вокруг основания жгутика в шейке.

А вот при созревании яйцеклетки мейоз идет иначе: цитоплазма неравномерно распределяется между клетками, образующимися при мейозе. При этом только одна клетка из образовавшихся четырех получается полноценной и жизнеспособной, а три остальные дочерние клетки превращаются в так называемые *направительные тельца*.

Сперматозоидов в семенниках самцов созревает во много раз больше, чем яйцеклеток в яичниках самок. Например, у мужчины в течение всей жизни образуется 10^{10} сперматозоидов, тогда как у женщины — только 300—400 яйцеклеток.

*Гаметы. Гермафродиты. Семенники. Яичники.
Сперматозоиды. Яйцеклетки. Период размножения.
Период роста. Период созревания.
Мейоз: мейоз I и мейоз II. Конъюгация.
Направительные тельца.*

?

1. В чем преимущество полового размножения перед бесполом?
2. Каких животных называют гермафродитами?
3. Как устроен сперматозоид?
4. Из каких стадий состоит мейоз?
5. Сколько клеток из одной образуется при мейозе? Сколько в них хромосом?

3.3. Оплодотворение



1. Каким растениям присуще двойное оплодотворение?
2. Где происходит оплодотворение у млекопитающих?

Процесс слияния женской и мужской гамет получил название *оплодотворения*. У водных животных — рыб, амфибий — происходит выброс гамет в воду, где и осуществляется так называемое *наружное оплодотворение*.

У наземных животных наружного оплодотворения быть не может, и сперматозоиды должны попасть непосредственно в организм самки, где и происходит *внутреннее оплодотворение*; при этом число сперматозоидов должно быть достаточно велико, так как далеко не все они достигают яйцеклетки.

В результате оплодотворения гаплоидные ядра сперматозоида и яйцеклетки сливаются и возникает одноклеточная стадия развития организма — *зигота*. При этом восстанавливается диплоидный набор, характерный для соматических клеток, и зигота, делясь митозом, дает начало всем тканям и органам.

Для покрытосеменных растений характерно так называемое *двойное оплодотворение*. Его преимущество — в образовании питательной ткани (*эндосперма*), ускоряющей созревание семени.

Оплодотворение. Зигота.

Наружное оплодотворение.

Внутреннее оплодотворение.

Двойное оплодотворение у покрытосеменных.

Эндосперм.

?

1. Почему наружное оплодотворение требует большего числа сперматозоидов?
2. Что такое зигота?
3. Почему на суше невозможно наружное оплодотворение?

3.4. Индивидуальное развитие организмов.

Биогенетический закон



1. Где развивается зародыш млекопитающих?
 2. Что такое зигота?
-

При половом размножении начало всему организму дает одна клетка — зигота, при бесполом размножении — одна или несколько клеток родительской особи. Но в любом случае для того, чтобы малое число клеток превратилось в полноценный организм, необходим целый ряд сложных, сменяющих друг друга превращений. Процесс индивидуального развития особи от момента ее возникновения до конца

жизни получил название *онтогенеза* (от греч. *óntos* — сущее и *génesis* — происхождение).

Онтогенез делят на два периода: эмбриональный (от греч. *embrion* — зародыш) и постэмбриональный. *Эмбриональный период (эмбриогенез)* длится с момента образования зиготы до рождения (например, у млекопитающих) или выхода из яичевых оболочек (например, у птиц). *Постэмбриональный период* начинается с момента рождения и длится до конца жизни особи.

Эмбриональный период. У всех многоклеточных организмов стадии эмбрионального развития зародыша одни и те же, однако они могут протекать по-разному. Яйцеклетки одних животных содержат мало питательных веществ, и образовавшаяся зигота может развиваться свободно. У других животных яйцеклетка снабжена огромным, по сравнению с ее размерами, запасом питательных веществ, и развитие зиготы происходит совсем по-другому. Примером таких животных являются птицы.

Разберем эмбриональное развитие зародыша у ланцетника (рис. 48). Первый его этап называется *дроблением*. Оплодотворенная яйцеклетка — зигота — начинает делиться митозом. Первое деление происходит в вертикальной плоскости, и зигота делится на две одинаковые клетки, которые называются *бластомерами* (от греч. *blastós* — зародыш и *mégos* — часть). Бластомеры не расходятся, а делятся еще раз, и образуются уже 4 клетки. Третье деление происходит в горизонтальной плоскости, и из четырех образуется 8 бластомеров. Далее продольные и поперечные деления сменяют друг друга, возникает все больше бластомеров. Деления происходят очень быстро, бластомеры не растут, а даже — по мере последовательных делений — уменьшаются в размерах. Постепенно бластомеры располагаются в один слой и образуют полый шарик — *бластулу* (см. рис. 48). Полость внутри бластулы получила название *первичной полости тела* или *бластоцели*.

На одном из полюсов бластулы клетки ее стенки, быстро делясь митозом, начинают впячиваться внутрь первичной полости тела (см. рис. 48). Так образуется второй, внутренний слой клеток зародыша. Получившийся двуслойный шарик называется *гастроулой* (от греч. *gaster* — желудок)

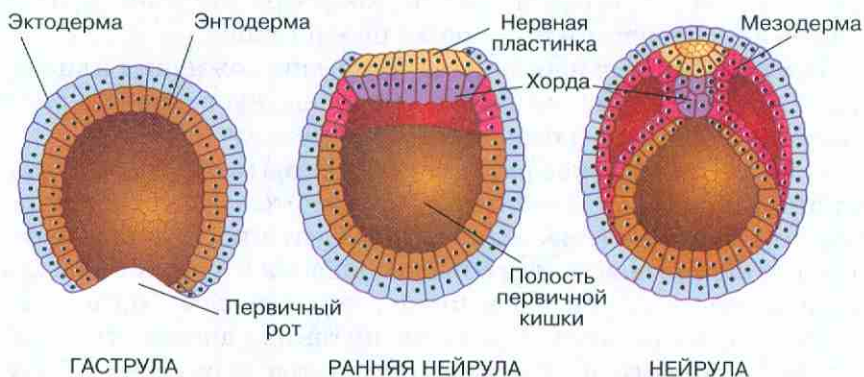
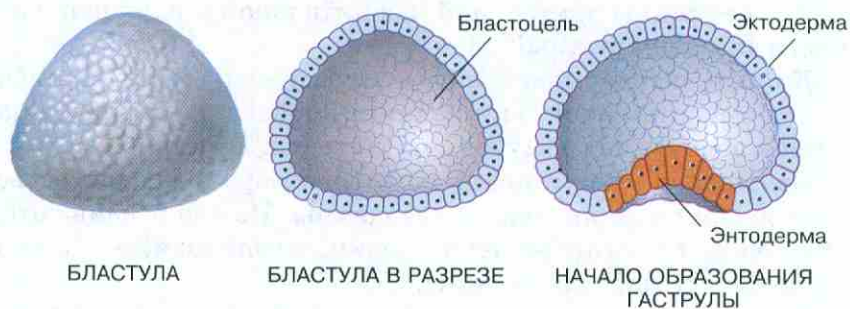


Рис. 48. Дробление оплодотворенного яйца ланцетника и образование зародышевых листков

(см. рис. 48). Наружный слой клеток называется *эктодерма* или *наружный зародышевый листок*, а внутренний — *энтодерма* или *внутренний зародышевый листок*. Полость, образовавшаяся внутри гастролы, является *первичной кишкой*, а отверстие, ведущее в первичную кишку, называется *первичным ртом* (см. рис. 48). Затем между эн-

тодермой и эктодермой образуется третий зародышевый листок — *мезодерма*. Эта стадия зародыша называется *нейрулой*. На стадии нейрулы начинается формирование тканей и органов будущего животного.

Из эктодермы закладывается нервная пластинка (см. рис. 48), которая в дальнейшем развивается в *нервную трубку*. У позвоночных животных из нервной трубки образуются спинной и головной мозг. Из эктодермы формируются также органы зрительной, обонятельной и слуховой систем, а также наружный слой кожи.

Клетки энтодермы образуют трубку — будущий кишечник, а выросты зачатка кишечника впоследствии превращаются в печень, поджелудочную железу и легкие.

Большая часть организма животных образуется из третьего зародышевого листка — мезодермы. Из нее развиваются хрящевой и костный скелет, почки, мышечная, половая и сердечно-сосудистая системы.

Весь организм развивается из одной клетки — зиготы, а клетки всех органов и тканей, несмотря на разнообразие строения, содержат одинаковый набор генов.

Постэмбриональный период. В момент рождения или выхода организма из яйцевых оболочек наступает период постэмбрионального развития.

Постэмбриональное развитие может быть *прямым*, когда из яйца или организма матери появляется существо, сходное со взрослым (пресмыкающиеся, птицы, млекопитающие), и *непрямым*, когда образовавшаяся в эмбриональный период личинка устроена проще, чем взрослый организм, и отличается от него способами питания, движения и др. (кишечнополостные, плоские и кольчатые черви, ракообразные, насекомые, земноводные).

При прямом развитии происходит рост организма, развиваются некоторые системы органов, например половая система и др. Таким образом, изменения в организме велики, но общий план его строения и способ существования не меняются.

При непрямом развитии из яйца выходит личинка; часто это дает таким организмам некоторые преимущества. Например, у малоподвижного двустворчатого моллюска беззубки свободноплавающая личинка может прикреп-

ляться зубчатыми створками раковины к телу рыб и таким образом перебираться на новые, отдаленные места обитания. У неподвижных асцидий личинка сама способна перемещаться на большие расстояния. Как правило, личинки и взрослые особи питаются по-разному и не конкурируют друг с другом. Например, головастик лягушки живет в воде и питается растительной пищей, а взрослая особь — живет на суше и является хищником. Гусеницы бабочек питаются чаще всего листьями, а взрослые бабочки — нектаром цветков или совсем не питаются. У отдельных видов личинки даже способны самостоятельно размножаться, например некоторые плоские черви, земноводные. В личиночный период жизни происходит интенсивное питание, рост и расселение животных. Непрямое постэмбриональное развитие требует сложной перестройки при переходе к взрослой форме: одни органы должны исчезнуть (хвост и жабры головастика), а другие — возникнуть (конечности и легкие лягушки).

Биогенетический закон. Сравнение зародышей разных видов животных показало, что развитие эмбрионов в пределах одного типа во многом сходно. Например, у всех хордовых на ранней стадии развития есть хорда, нервная трубка и кишечная трубка с жаберными щелями в ней. Эмбрионы всех групп позвоночных на ранних стадиях внешне очень похожи (рис. 49). Этот факт позволил Карлу Бэру сформулировать *закон зародышевого сходства*: «В пределах типа эмбрионы, начиная с самых ранних стадий, обнаруживают известное общее сходство». Однако при дальнейшем развитии каждый зародыш развивается своим путем и приобретает все большее сходство с особями своего вида. Человек, например, начинает свое эмбриональное развитие с одной клетки — зиготы, т. е. как бы проходит стадию простейших, бластула аналогична колониальным животным, сходным с вольвоксом, гастрюла — аналог двуслойных кишечноротовых. В первые недели эмбриогенеза у будущего человека есть хорда, жаберные щели и хвост, т. е. он напоминает древнейших хордовых, сходных по строению с нынешним ланцетником. Этот и многие другие примеры показывают связь между индивидуальным развитием каждого организма и эволюцией вида, к которому этот организм относится.

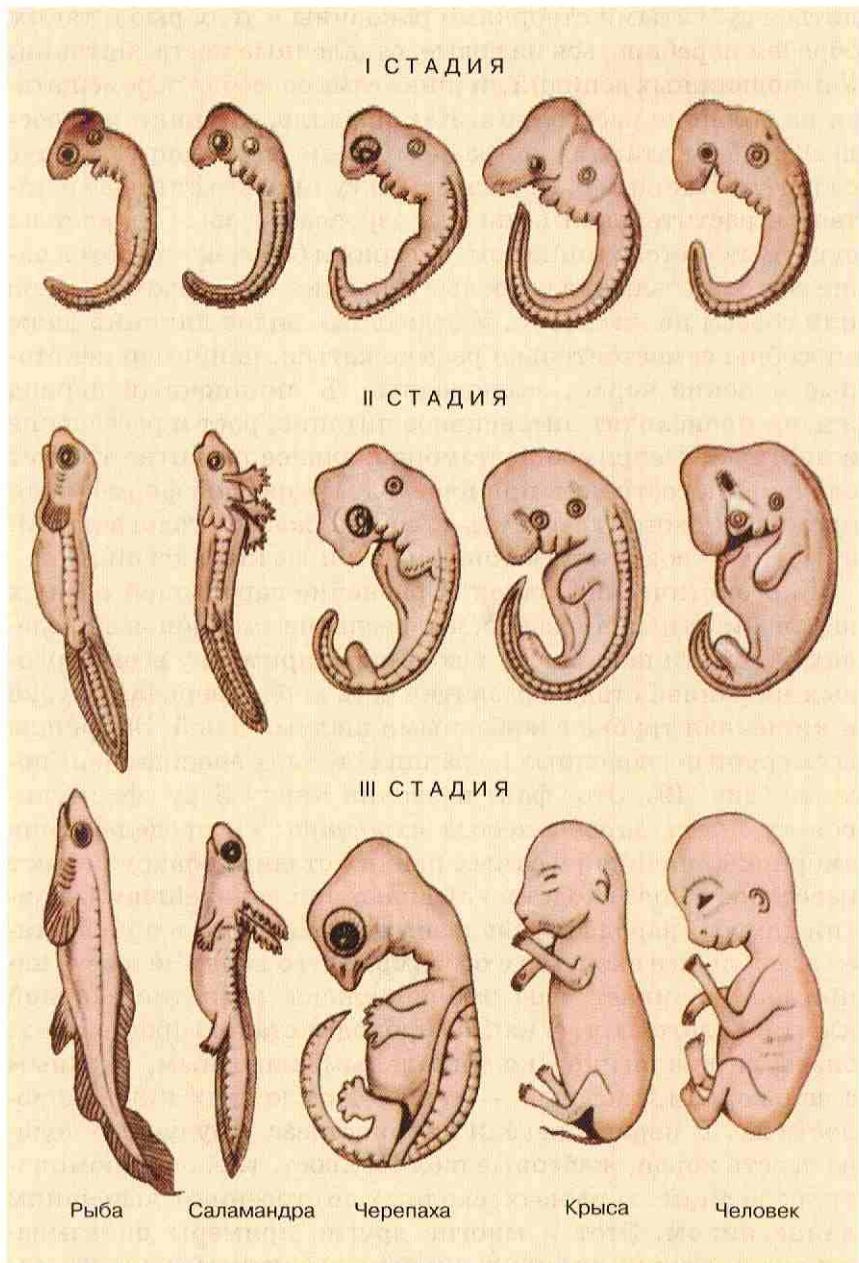


Рис. 49. Эмбрионы некоторых животных на ранних стадиях развития

Эта мысль была сформулирована в *биогенетическом законе* Ф. Мюллера и Э. Геккеля: индивидуальное развитие особи (*онтогенез*) до определенной степени повторяет историческое развитие вида (*филогенез*), к которому относится данная особь.

Известный русский ученый А. Н. Северцов внес важные дополнения в этот закон. Он установил, что в эмбриогенезе повторяются признаки зародышей, а не взрослых особей. Например, жаберные щели у зародыша человека сходны по строению с жаберными щелями зародышей рыб, а не с жабрами взрослых рыб.

Биогенетический закон имеет очень важное значение, поскольку свидетельствует об общих предках животных, относящихся к различным систематическим группам. Он позволяет использовать данные эмбриологии для воссоздания хода филогенеза.

Онтогенез.

Эмбриональный период онтогенеза (эмбриогенез).

Постэмбриональный период онтогенеза.

Дробление. Бластомеры. Бластула.

Первичная полость тела. Гаструла.

Эктодерма — наружный зародышевый листок.

Энтодерма — внутренний зародышевый листок.

Первичная кишка. Первичный рот.

Мезодерма — средний зародышевый листок.

Нейрула. Нервная трубка.

Прямое развитие. Непрямое развитие.

Закон зародышевого сходства.

Биогенетический закон. Филогенез.

?

1. Чем начинается и чем заканчивается эмбриональный период развития?
2. Чем начинается и чем заканчивается постэмбриональный период развития?
3. Какие системы органов образуются из эктодермы? энтодермы? мезодермы?
4. Приведите примеры животных с прямым и непрямым развитием.
5. В чем значение биогенетического закона?

3.5. Закономерности наследования признаков, установленные Г. Менделем. Моногибридное скрещивание



1. У каких организмов только одна кольцевая хромосома?
2. Что такое гибрид?

Генетика — наука, изучающая закономерности наследственности и изменчивости живых организмов. *Наследственность* — это свойство всех живых организмов передавать свои признаки и свойства из поколения в поколение. *Изменчивость* — свойство всех живых организмов приобретать в процессе индивидуального развития новые признаки. Элементарные единицы наследственности — *гены* — представляют собой участки ДНК хромосом.

Закономерности, по которым признаки передаются из поколения в поколение, первым открыл великий чешский ученый Грегор Мендель (1822—1884). Грегор Мендель в 25 лет стал монахом, уже после этого он прослушал курс математики и естественных наук в Венском университете. Позднее, с 1868 г., он был настоятелем августинского монастыря в чешском городе Брно и одновременно преподавал в школе естественную историю и физику. В течение многих лет Мендель как ботаник-любитель проводил опыты в монастырском саду и в 1865 г. опубликовал работу «Опыты над растительными гибридами», в которой изложил основные законы наследственности.

Гибридологический метод. Основой замечательной работы Г. Менделя был так называемый *гибридологический метод*. Суть этого метода заключается в скрещивании (гибридизации) организмов, отличающихся друг от друга какими-либо признаками, и в последующем анализе характера наследования этих признаков у потомства. Гибридологический метод до сих пор лежит в основе исследований всех генетиков.

Ставя опыты, Мендель придерживался нескольких правил. Во-первых, работая с садовым горохом, он использовал для скрещивания растения, которые относились к различным сортам. Так, например, у одного сорта горошины всегда были желтые, а у другого — всегда зеленые. Так как горох самоопыляемое растение, то в природных условиях эти сорта не смешиваются. Такие сорта называют *чистыми линиями*.

Во-вторых, чтобы получить больше материала для анализа законов наследственности, Мендель работал не с одной, а с несколькими родительскими парами гороха.

В-третьих, Мендель намеренно упростил задачу, наблюдая за наследованием не всех признаков гороха сразу, а только одной их пары. Для своих опытов он изначально выбрал цвет семян гороха — горошин. В тех случаях, когда родительские организмы различаются лишь по одному признаку (например, только по цвету семян или только по форме семян), скрещивание называют *моногибридным*.

В-четвертых, имея математическое образование, Мендель применил для обработки данных количественные методы: он не просто замечал, каков цвет семян гороха у потомства, но и точно подсчитывал, сколько таких семян появилось.

Надо добавить, что Мендель очень удачно выбрал для опытов горох. Горох легко выращивать, в условиях Чехии он размножается несколько раз в год, сорта гороха отличаются друг от друга рядом хорошо заметных признаков, и, наконец, в природе горох самоопыляем, но в эксперименте это самоопыление легко предотвратить, и экспериментатор может опылить растение пыльцой с другого растения, т. е. перекрестно.

Если пользоваться терминами, появившимися через много лет после работ Менделя, то можно сказать, что клетки растений гороха одного сорта содержат по два гена только желтой окраски, а гены растений другого сорта — по два гена только зеленой окраски. Гены, ответственные за развитие одного признака (например, цвета семян), получили название *аллельных генов*. Если организм содержит два одинаковых аллельных гена (например, оба гена зеленого цвета семян или, наоборот, оба гена желтизны семян), то такие организмы называют *гомозиготными*. Если же аллельные гены различны (т. е. один из них определяет желтую, а другой — зеленую окраску семян), то такие организмы называют *гетерозиготными*. Чистые линии образованы гомозиготными растениями, поэтому при самоопылении они всегда

воспроизводят один вариант проявления признака. В опытах Менделя это был один из двух возможных цветов семян гороха — или всегда желтый, или всегда зеленый.

(Не будем забывать, что в те годы, когда Мендель ставил свои эксперименты, о генах, хромосомах, митозе и мейозе не было известно ничего!)

Единообразие гибридов первого поколения. Искусственно скрещивая растения гороха с желтыми горошинами с растениями, имеющими зеленые горошины (т. е. проводя моногибридное скрещивание), Мендель убедился, что все семена потомков-гибридов будут желтого цвета. Такое же явление он наблюдал в опыте при скрещивании растений с гладкими и морщинистыми семенами — все гибридные растения имели гладкие семена. Проявляющийся у гибридов признак (желтизну семян или гладкость семян) Мендель назвал *доминантным*, а подавляемый признак (т. е. зеленый цвет семян или морщинистость семян) — *рецессивным*. Доминантный признак принято обозначать большой буквой (А, В, С), а рецессивный — маленькой (а, b, с).

На основании этих данных Мендель сформулировал *правило единообразия гибридов первого поколения: при скрещивании двух гомозиготных организмов, отличающихся друг от друга одним признаком, все гибриды первого поколения будут иметь признак одного из родителей, и поколение по данному признаку будет единообразным.*

Из семян, полученных в первом поколении, Мендель вырастил растения гороха и снова скрестил их между собой. У растений второго поколения большинство горошин были желтого цвета, но встречались и зеленые горошины. Всего от нескольких скрещиваемых пар растений Мендель получил 6022 желтых и 2001 зеленую горошину. Легко сосчитать, что $\frac{3}{4}$ гибридных семян имели желтую окраску и $\frac{1}{4}$ зеленую. Явление, при котором скрещивание приводит к образованию потомства частично с доминантными, частично с рецессивными признаками, получило название *расщепления*.

Опыты с другими признаками подтвердили эти результаты, и Мендель сформулировал *правило расщепления: при скрещивании двух потомков (гибридов) первого поколения между собой во втором поколении наблюдается расщепление и снова появляются особи с рецессивными признаками; эти особи составляют одну четвертую часть от всего числа потомков второго поколения.*

Закон чистоты гамет. Для объяснения тех фактов, которые легли в основу правила единообразия гибридов первого поколения и правила расщепления, Г. Мендель предположил, что «элементов наследственности» (генов) в каждой соматической клетке по два. В клетках гибрида первого поколения, хотя они и имеют только желтые горошины, обязательно должны присутствовать оба «элемента» (и желтого, и зеленого цветов), иначе у гибридов второго поколения не может возникнуть горошин зеленого цвета. Связь между поколениями обеспечивается через половые клетки — гаметы. Значит, каждая гамета получает только один «элемент наследственности» (ген) из двух возможных — «желтый» или «зеленый». Эту гипотезу Менделя о том, что *при образовании гамет в каждую из них попадает только один из двух аллельных генов*, называют *законом чистоты гамет*.

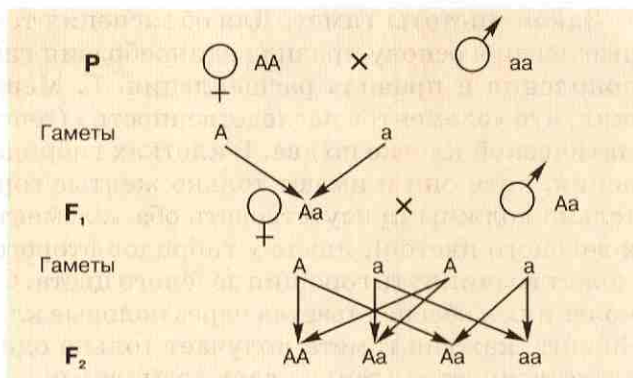
Из опытов Г. Менделя по моногибридному скрещиванию, помимо закона чистоты гамет, следует также, что гены передаются из поколения в поколение не меняясь. Иначе невозможно объяснить тот факт, что в первом поколении после скрещивания гомозигот с желтыми и зелеными горошинами все семена были желтые, а во втором поколении снова появились зеленые горошины. Следовательно, ген «зеленого цвета горошин» не исчез и не превратился в ген «желтого цвета горошин», а просто не проявился в первом поколении, подавленный доминантным геном желтизны.

Как же объяснить закономерности генетики с позиций современной науки?

Цитологические основы закономерностей наследования при моногибридном скрещивании. Изобразим моногибридное скрещивание в виде схемы. Символ ♀ обозначает женскую особь, символ ♂ — мужскую, х — скрещивание, P — родительское поколение, F₁ — первое поколение потомков, F₂ — второе поколение потомков, А — ген, отвечающий за доминантный желтый цвет, а — ген, отвечающий за рецессивный зеленый цвет семян гороха (рис. 50).

Из рисунка видно, что в каждой гамете родительских особей будет по одному гену (вспомните мейоз): в одном случае А, в другом — а. Таким образом, в первом поколении все соматические клетки будут гетерозиготными — Аа. В свою очередь, гибриды первого поколения с равной вероятностью могут образовывать гаметы А или а. Случайные комбинации этих гамет при половом процессе могут дать следующие

Рис. 50.
Схема наследования признаков при моногибридном скрещивании



варианты: AA, Aa, aA, aa. Первые три растения, содержащие ген А, по правилу доминирования будут иметь желтые горошины, а четвертое — рецессивная гомозигота aa — будет иметь зеленые горошины.

Гибридологический метод. Чистые линии.

Моногибридные скрещивания. Аллельные гены.

Гомозиготные и гетерозиготные организмы.

Доминантные и рецессивные признаки. Расщепление.

Закон чистоты гамет.

?

1. Каких правил придерживался Г. Мендель при проведении своих опытов?
2. Почему для опытов Г. Менделя был удачным выбор гороха?
3. Какие гены называются аллельными?
4. Чем гомозиготный организм отличается от гетерозиготного?
5. В чем суть гибридологического метода?
6. Сформулируйте закон чистоты гамет.
7. Что такое моногибридное скрещивание?
8. Какой признак называется доминантным? рецессивным?
9. В чем суть правила единообразия гибридов первого поколения? Проиллюстрируйте свой ответ схемой.
10. Сформулируйте правило расщепления. Нарисуйте схему скрещивания гибридов первого поколения.

3.6. Неполное доминирование. Генотип и фенотип. Анализирующее скрещивание



-
1. Много ли генов в одной хромосоме?
 2. Сколько хромосом в ядре клетки человека?
-

Не всегда признаки можно четко разделить на доминантные и рецессивные. В этих случаях доминантный ген не до конца подавляет рецессивный ген из аллельной пары. При этом будут возникать промежуточные признаки, и признак у гомозиготных особей будет не таким, как у гетерозиготных. Это явление получило название *неполного доминирования*. Поясним его на примере.

При скрещивании растений ночной красавицы, имеющей пурпурные цветки (AA), с растением, имеющим белые цветки (aa), все растения первого поколения будут иметь промежуточную розовую окраску (рис. 51). Это не противоречит правилу единообразия гибридов первого поколения Г. Менделя: ведь действительно в первом поколении все цветки розовые. При скрещивании двух особей ночной красавицы из первого поколения во втором поколении происходит расщепление, но не в соотношении 3 : 1, а в соотношении 1 : 2 : 1, т. е. один цветок белый (aa), два розовых (Aa) и один пурпурный (AA).

До сих пор мы рассматривали случай наследования одного признака, определяемого одним геном. Но любой организм имеет огромное количество признаков, причем это не только внешние, видимые особенности, но и признаки биохимические (строение молекул, активность ферментов, концентрация веществ в тканях крови и т. п.), анатомические (размеры и форма органов) и т. п. Любой признак, каким бы простым он ни казался, зависит от многочисленных физиологических и биохимических процессов, каждый из которых, в свою очередь, зависит от деятельности белков-ферментов.

Совокупность всех внешних и внутренних признаков и свойств организма называют *фенотипом*.

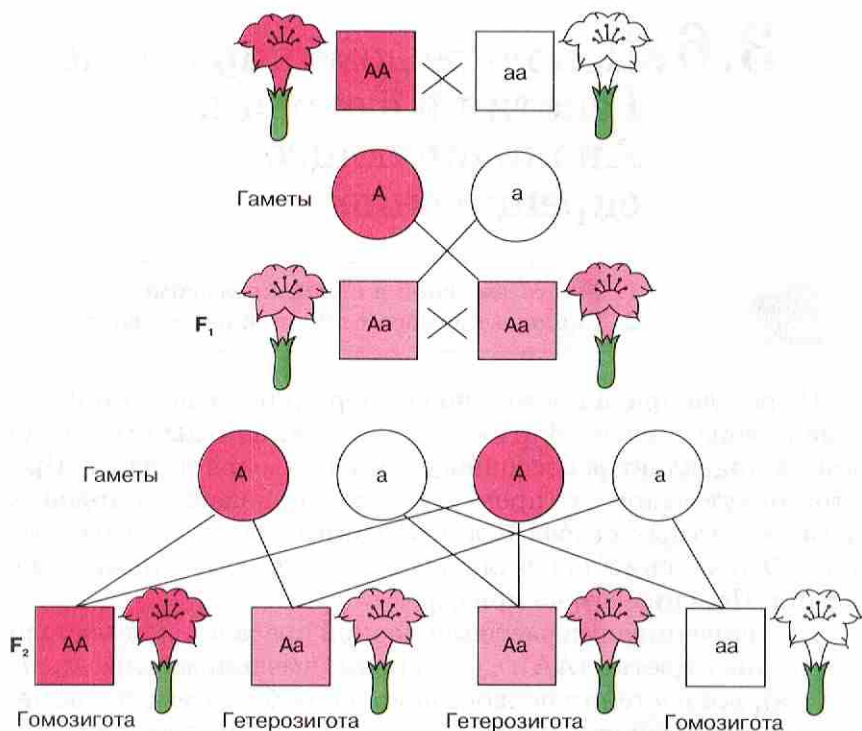


Рис. 51. Схема наследования признаков при неполном доминировании

Совокупность всех генов какого-либо организма называют *генотипом*.

Фенотипические признаки, определяемые теми или иными генами, в различных условиях существования развиваются по-разному.

По фенотипу не всегда можно понять, какие гены содержит данная особь. Например, у растения гороха, имеющего желтые семена, генотип может быть и AA, и Aa. А вот рецессивный признак проявляется только у гомозиготных растений с генотипом aa. Иными словами, мы всегда знаем, каков генотип у особи с рецессивным признаком.

Для установления генотипа особей, которые не различаются по фенотипу, используют так называемое анализирующее скрещивание. При этом особь, генотип которой нужно установить, скрещивают с особью, гомозиготной по рецессивному гену, т. е. с aa. Например, для того чтобы выяснить,

какие из растений гороха с желтыми семенами содержат генотип АА, а какие Аа, их следует скрестить с растениями, имеющими зеленые горошины (аа). Если исследуемое растение имеет генотип АА, то все полученное потомство будет иметь желтые семена.

Если же исследуемый организм гетерозиготен, т. е. Аа, то в потомстве при анализирующем скрещивании будут наблюдаться растения и с желтыми, и с зелеными горошинами в соотношении 1 : 1.

*Неполное доминирование.
Фенотип. Генотип.
Анализирующее скрещивание.*

?

1. Какое расщепление по фенотипу происходит во втором поколении при неполном доминировании?
2. Что такое фенотип?
3. Всегда ли по фенотипу можно определить генотип?
4. Исходно зная генотип, можно ли предсказать фенотип?
5. Зная фенотип, можно ли угадать генотип?

3.7. Дигибридное скрещивание. Закон независимого наследования признаков



Могут ли два организма одного вида различаться только по одному признаку?

Все организмы одного вида обычно отличаются друг от друга по многим признакам.

Если две особи отличаются друг от друга по двум признакам, то скрещивание между ними называется *дигибридным*, если по трем — *тригибридным* и т. д. Скрещивание особей,

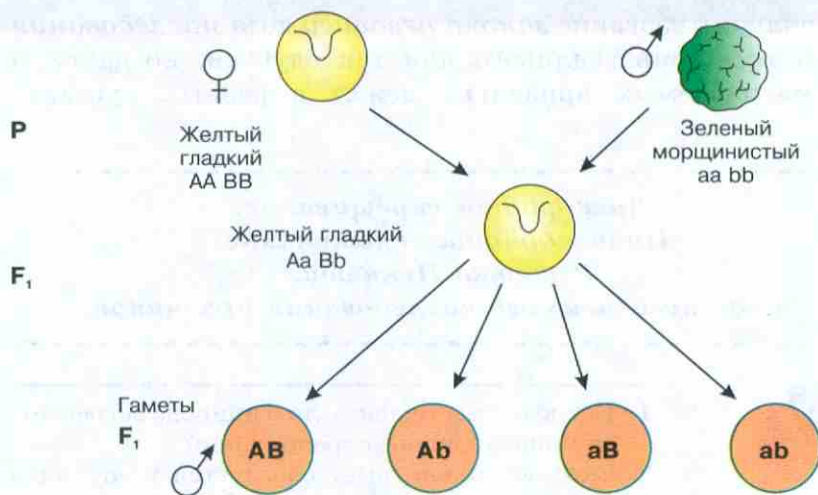
различающихся по многим признакам, называется *полигибридным*.

Установив закономерности наследования одного признака, Г. Мендель исследовал характер расщепления при скрещивании двух чистых линий гороха, различающихся по двум признакам: цвету семян (желтые или зеленые) и форме семян (гладкие или морщинистые). При таком скрещивании признаки определяются различными парами генов: одна аллель отвечает за цвет семян, другая — за форму. Желтая окраска горошин (А) доминирует над зеленой (а), а гладкая форма (В) над морщинистой (b).

В первом поколении (F_1) все особи, как и должно быть по правилу единообразия гибридов первого поколения, имели желтые гладкие горошины. Для того чтобы понять, каким образом будут комбинироваться при скрещивании двух гибридов первого поколения все возможные виды гамет, американским генетиком Пеннетом была предложена так называемая решетка Пеннета, позволяющая наглядно представить все виды комбинаций генов в гаметах и результаты их слияния. Так как при дигибридном скрещивании образуются 4 вида гамет: АВ, Ab, aВ и ab, то количество видов зигот, которые могут возникнуть при случайном слиянии этих гамет, равно $4 \cdot 4$, т. е. 16. Именно столько клеток в решетке Пеннета (рис. 52). Из рисунка видно, что при этом скрещивании возникают следующие 9 видов генотипов: ААВВ, ААВb, АaВВ, АaВb, АAbb, Aabb, aaВВ, aaВb и aabb, так как в 16 сочетаниях есть повторения. Эти 9 генотипов проявляются в виде 4 фенотипов: желтые — гладкие, желтые — морщинистые, зеленые — гладкие и зеленые — морщинистые. Численное соотношение этих фенотипических вариантов таково:

$$9жг : 3жм : 3зг : 1зм.$$

Если же полученные Г. Менделем результаты рассмотреть отдельно по каждому из признаков (цвету и форме), то по каждому из них будет сохраняться соотношение 3 : 1, характерное для моногибридного скрещивания. Отсюда Г. Мендель заключил, что при дигибридном скрещивании гены и признаки, за которые эти гены отвечают, сочетаются и наследуются независимо друг от друга. Этот вы-



F₂

Гаметы ♀	Желтый гладкий	Желтый гладкий	Желтый гладкий	Желтый гладкий
♂ AB	Желтый гладкий AA BB	Желтый гладкий AA Bb	Желтый гладкий Aa BB	Желтый гладкий Aa Bb
Ab	Желтый гладкий AA Bb	Желтый морщинистый AA bb	Желтый гладкий Aa Bb	Желтый морщинистый Aa bb
aB	Желтый гладкий Aa BB	Желтый гладкий Aa Bb	Зеленый гладкий aa BB	Зеленый гладкий aa Bb
ab	Желтый гладкий Aa Bb	Желтый морщинистый Aa bb	Зеленый гладкий aa Bb	Зеленый морщинистый aa bb

Рис. 52. Схема наследования признаков при дигибридном скрещивании

вод получил название *закона независимого наследования признаков*, справедливого для тех случаев, когда гены рассматриваемых признаков лежат в разных хромосомах.

*Дигибридное скрещивание.
Полигибридное скрещивание.
Решетка Пеннета.*

Закон независимого наследования признаков.

?

1. Как вы думаете, часто ли в природе встречается моногибридное скрещивание?
2. Сколько видов гамет образуется у гибридов первого поколения при дигибридном скрещивании?

3.8. Сцепленное наследование признаков. Закон Т. Моргана. Перекрест



1. Все ли гены клетки «работают» одновременно?
 2. Сильно ли различается число хромосом в клетках разных видов живых организмов?
-

В начале XX столетия стало очевидным, что Г. Мендель открыл единые закономерности наследственности для всех живых организмов. Но вместе с тем стали накапливаться сведения о том, что в некоторых случаях расщепление происходит не по правилам Г. Менделя. Например, у душистого горошка два признака — форма пыльцы и окраска цветков — не дают независимого расщепления в потомстве в соотношении 3 : 1, и потомки остаются похожими на родительские особи. При анализе этого явления оказалось, что ген формы пыльцы и ген окраски цветка лежат в одной хромосоме.

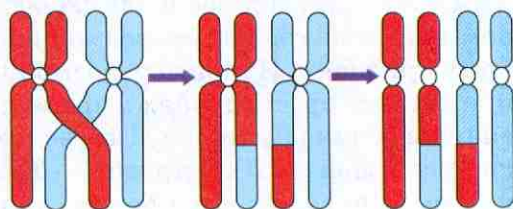
Действительно, генов, кодирующих различные признаки, у любого организма очень много. Так, по приблизительным расчетам у человека около 100 000 генов, а видов хромосом только 23. Таким образом, все десятки тысяч генов уместаются в этих хромосомах. Каковы же принципы наследования генов, расположенных в одной хромосоме? Современная хромосомная теория наследственности создана выдающимся американским генетиком Т. Морганом.

Основным объектом, с которым работали Т. Морган и его ученики, была плодовая мушка дрозофила, имеющая диплоидный набор из 8 хромосом. Эксперименты показали, что *гены, находящиеся в одной хромосоме, при мейозе попадают в одну гамету, т. е. наследуются сцепленно*. Это явление получило название *закона Моргана*. Было также показано, что у каждого гена в хромосоме есть строго определенное место — *локус*.

Однако в экспериментах Моргана выяснилось, что среди гибридов второго поколения обязательно есть малое число особей с перекombинацией тех признаков, гены которых лежат в одной хромосоме. Как это можно объяснить?

Оказалось, что во время профазы первого деления мейоза гомологичные хромосомы (т. е. идентичные хромосомы одной пары) конъюгируют между собой. В этот момент они могут разрываться в месте контакта и обмениваться гомологичными участками. Это явление обмена аллельными генами между двумя гомологичными хромосомами получило название *перекреста* (рис. 53). Частота перекреста для различных генов оказалась различной. Чем дальше друг от друга в хромосоме расположены гены каких-либо двух признаков, тем выше вероятность перекреста между ними. Это происходит потому, что близко расположенные гены имеют больше вероятности оказаться вместе, так как они редко разделяются при перекресте. Перекрест служит важным источ-

Рис. 53. Схема перекреста гомологичных хромосом в профазе первого деления мейоза



ником генетической изменчивости, потому что при нем образуются две хромосомы, содержащие в себе гены обеих исходных хромосом.

К настоящему времени хромосомы многих видов бактерий, растений и животных изучены. Определены локусы различных генов, причем было доказано, что гены в хромосомах расположены линейно, друг за другом. Сейчас ведется очень трудная и длительная работа по составлению генных карт человека. Знание того, в какой хромосоме и в какой ее части находится тот или иной ген, может помочь в борьбе с самыми различными, пока неизлечимыми, болезнями человека.

Сцепленное наследование.

Закон Моргана.

Локус гена. Перекрест.

?

1. Что собой представляют хромосомы?
2. Почему не всегда соблюдается правило независимого наследования признаков Г. Менделя?
3. Когда происходит перекрест? В чем его суть и биологическое значение?

3.9. Взаимодействие генов



1. Сколько групп крови у человека вы знаете?
2. Какие гены называются аллельными?

Вы уже знаете, что аллельные гены бывают доминантными и рецессивными. Однако часто отношения между аллельными генами сложнее и заключаются не только в том, что доминантный ген не дает возможности проявиться рецессивному признаку. Например, возможно неполное доминирование. В некоторых случаях в признаке потомства проявляются гены обоих родителей. Так, если один из родителей имеет группу крови А (II), а другой — В (III), то в крови детей одновременно содержатся белки, характерные для группы А

и для группы В. В этом случае у ребенка будет IV (AB) группа крови. Такой вид взаимодействия аллельных генов получил название *кодминирования*.

При разборе принципов наследования различных признаков на примере гороха (цвет и форма горошин, например) создается впечатление, что каждый ген в генотипе действует сам по себе, независимо от других неаллельных ему генов. На самом деле любой организм представляет собой сложную координированную систему, в которой все процессы взаимосвязаны. Взаимосвязь процессов в организме определяется в значительной мере взаимодействием различных генов между собой. Видов взаимодействия генов в генотипе несколько.

Комплементарное, или дополнительное, взаимодействие. Некоторые признаки развиваются только в результате взаимодействия нескольких неаллельных генов. Например, при скрещивании двух чистых линий душистого горошка, имеющих белые цветки, у гибридов первого поколения (F_1) все цветки будут иметь пурпурную окраску (рис. 54). Оказывается, доминантные неаллельные гены А и В, каждый в отдельности, не могут обеспечить синтез красного пигмента антоциана для окраски цветка. И только при наличии обоих неаллельных доминантных генов А и В, которые, видимо, кодируют структуры различных ферментов, необходимых для синтеза антоциана, цветки окрашиваются в красный цвет.

Эпистаз — это такое взаимодействие генов, когда один из них подавляет проявления другого, неаллельного ему, т. е. эпистаз противоположен комплементарному взаимодействию. Доминантный ген W определяет у плодов тыквы отсутствие окраски, а рецессивный ген этой аллели w — окра-

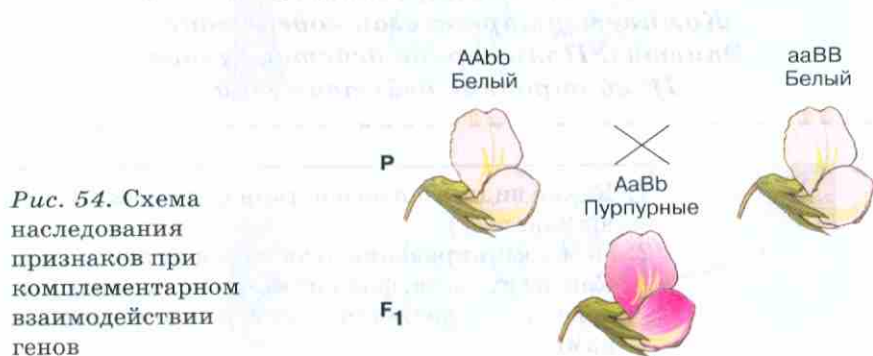


Рис. 54. Схема наследования признаков при комплементарном взаимодействии генов

шенные плоды. В другой аллели доминантный ген Y определяет желтую окраску, а рецессивный ген y зеленую окраску плода. При скрещивании тыкв с белыми ($WWYY$) и зелеными ($wwyy$) плодами все гибриды первого поколения будут иметь белые плоды ($WwYy$), так как ген W подавляет ген Y .

Полимерное действие генов. Многие признаки в организме могут быть выражены слабее или сильнее — рост, вес, плодовитость, удоимость и т. п. Эти признаки определяются несколькими генами. Действие их суммируется, и чем больше в генотипе доминантных генов из тех пар, которые влияют на этот количественный признак, тем сильнее он проявляется. Например, красный цвет зерна пшеницы обусловлен доминантными генами из двух пар аллелей — A_1 и A_2 . Так вот, у растений с генотипом $a_1a_1a_2a_2$ зерно не окрашено, очень слабо окрашены зерна с одним доминантным геном: $A_1a_1a_2a_2$ или $a_1a_1A_2a_2$. И наконец, самый яркий цвет будут иметь зерна с четырьмя доминантными генами $A_1A_1A_2A_2$.

Плейотропность — множественное действие гена. Иногда один ген, кодируя структуру белка, необходимого для нормального обмена веществ во многих видах клеток организма, влияет сразу на несколько признаков. Например, патология одного определенного гена приводит у человека к развитию синдрома Марфана. У таких людей очень длинные и тонкие («паучьи») пальцы, вывих хрусталика глаза, пороки клапанов сердца, страдают сосуды. Дело в том, что этот ген контролирует развитие соединительной ткани и его патология сказывается сразу на многих признаках.

Кодоминирование.

Комплементарное взаимодействие.

Эпистаз. Полимерное действие генов.

Плейотропное действие гена.

?

1. Какие виды взаимодействия аллельных генов вы знаете?
2. Чем доминирование отличается от эпистаза?
3. Как вы думаете, физическая выносливость человека определяется одним или многими генами?

3.10. Генетика пола. Сцепленное с полом наследование



1. Приведите примеры обоеполых животных.
2. Какие хромосомы называют половыми?

Подавляющее большинство животных представлено особями двух видов — мужского и женского, причем расщепление по признаку пола происходит в соотношении 1 : 1. Такое расщепление у потомства наблюдается в тех случаях, когда скрещиваются гетерозиготная (Aa) и гомозиготная (aa) родительские особи.

Г. Мендель предположил, таким образом, что один из полов гетерозиготен, а второй — гомозиготен по гену, который определяет пол организма.

Это предположение было подтверждено в начале XX в., когда Т. Моргану и его сотрудникам удалось установить, что самцы и самки различаются по набору хромосом. Все хромосомы, кроме одной пары, у мужских и женских организмов одинаковы и называются *аутосомами*. Но в одной паре хромосомы у самцов и самок различны. Эти хромосомы получили название *половых*. Например, у самок дрозофилы в каждой клетке три пары аутосом и одна пара одинаковых половых, так называемых X-хромосом. А у самцов — те же три пары аутосом и две разные половые хромосомы — X и Y (рис. 55). При формировании гамет во время мейоза у самок

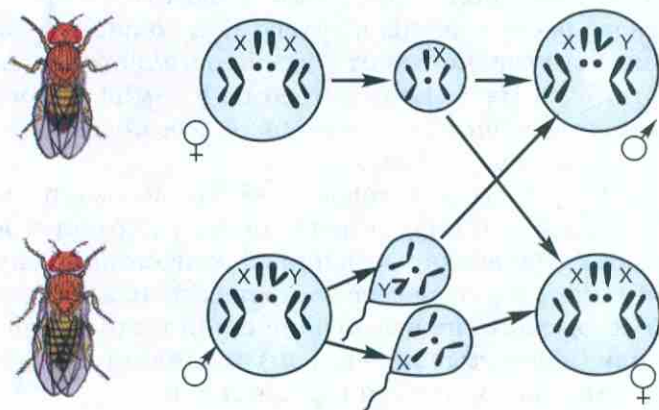


Рис. 55.
Схема
расщепления
по признаку
пола

будет образовываться один вид гамет: 3 аутосомы + X половая хромосома. У самцов же будут в одинаковом количестве образовываться два вида гамет: 3 аутосомы + X половая хромосома или 3 аутосомы + Y половая хромосома.

Если при оплодотворении с яйцеклеткой сольется сперматозоид с X-хромосомой, из зиготы разовьется самка, а если с Y-хромосомой — то самец. Таким образом, пол будущей особи определяется во время оплодотворения и зависит от того, какой набор половых хромосом сформируется в этот момент.

Так как самки дрозофилы способны производить только один вид гамет (с X половой хромосомой), их называют *гомогаметным полом*. Самцы дрозофил производят два вида гамет (с X или Y половыми хромосомами), и их называют *гетерогаметным полом*. У многих млекопитающих (и у человека в том числе), червей, ракообразных, многих земноводных, рыб и большинства насекомых женский пол также является гомогаметным (XX), а мужской — гетерогаметным (XY). У женщин в каждой клетке 22 пары аутосом и две X половые хромосомы, а у мужчин те же 22 пары аутосом, а также X и Y половые хромосомы. Однако у многих видов хромосомное определение пола выглядит иначе. У птиц, рептилий и некоторых рыб гомогаметны самцы (XX), а гетерогаметны самки (XY). У некоторых насекомых (пчелы, кузнечики) самки гомогаметны (XX), а у самцов в хромосомном наборе есть только одна половая хромосома (XO).

Наследование признаков, сцепленных с полом. В половых хромосомах расположено множество различных генов, и далеко не все из них определяют признаки, имеющие отношение к полу. Если гены, ответственные за какой-то признак, расположены в аутосомах, то наследование осуществляется независимо от того, кто является носителем гена — отец или мать. Ведь аутосомы у самца и самки одинаковы. *Расположение гена в половой хромосоме называют сцеплением гена с полом.*

Например, у человека в X-хромосоме расположен доминантный ген (H), определяющий нормальное свертывание крови. Рецессивный вариант этого гена (h) приводит к снижению свертываемости крови, называемому гемофилией. Y-хромосома не имеет аллельной к этому гену пары, и признак (несвертывание крови) проявляется у мужчин даже несмотря на то, что ген h рецессивен.

Таким же образом наследуется дальтонизм — неспособность различать красный и зеленый цвета.

*Аутосомы. Половые хромосомы.
Гомогаметный и гетерогаметный пол.
Наследование признаков, сцепленных с полом.*

?

1. От чего зависит пол ребенка у человека: от хромосом яйцеклетки или хромосом сперматозоидов?
2. Сколько аутосом у дрозофилы? у человека?
3. Какие признаки называются сцепленными с полом?

3.11. Закономерности изменчивости: модификационная изменчивость. Норма реакции



1. Что называется наследственностью?
 2. Что такое изменчивость?
-

Одним из свойств живых организмов является их *изменчивость*. Если вегетативным путем (например, размножая черенками стебля) получить несколько кустов смородины из одного куста, то, естественно, генотип всех новых кустов будет одинаковым. Однако фенотипы этих кустов могут сильно отличаться друг от друга — по размерам и количеству ветвей, листьев, урожайности и т. д. Эти различия по целому ряду признаков у растений с одинаковым генотипом связаны с тем, что проявление действия отдельных генов и всего генотипа организма зависит от условий внешней среды. Например, освещенность для одного из этих кустов оказалась большей, чем для других. Или почва под одним из них лучше удобрена, или один из кустов получает больше влаги...

Такие изменения организмов, которые не затрагивают его генов и потому не передаются из поколения в поколение, называются *модификациями*, а этот вид изменчивости — *модификационной*.

Чаще всего модификациям подвержены количественные признаки: рост, вес, плодовитость и т. п.

Для различных признаков и свойств организмов характерна большая или меньшая зависимость от условий внешней среды. Например, у человека цвет радужки и группа крови определяются только генами, и условия жизни на эти признаки влиять никак не могут. А вот рост, вес, физическая сила и выносливость сильно зависят от внешних условий, например от количества и качества питания, физической нагрузки и др. Пределы модификационной изменчивости какого-либо признака называют *нормой реакции*. Изменчивость признака иногда бывает очень большой, но она никогда не может выходить за пределы нормы реакции. Например, человек может пробежать 100 м за 11 с, 10 с, 9 с, а вот за 5 с не сможет никогда. У одних признаков норма реакции очень широка (например, настриг шерсти с овец, вес быков, молочность коров), а другие признаки характеризуются узкой нормой реакции (например, окраска шерсти у кроликов).

Из сказанного следует очень важный вывод. Наследуется не сам признак, а способность проявлять этот признак в определенных условиях, или можно сказать, что наследуется норма реакции организма на внешние условия.

Итак, можно перечислить следующие основные характеристики модификационной изменчивости:

1. Модификационные изменения не передаются из поколения в поколение.

2. Модификационные изменения проявляются у многих особей вида и зависят от действия на них условий среды.

3. Модификационные изменения возможны только в пределах нормы реакции, т. е. в конечном счете они определяются генотипом.

*Изменчивость. Модификации.
Норма реакции.*

3.12. Закономерности изменчивости: мутационная изменчивость



1. Наследуются ли модификации?
2. Что такое генотип и фенотип?

Итак, модификационные изменения не наследуются. Основная причина возникновения новых признаков и свойств у живых организмов — это проявление мутаций. *Мутации* — это изменения генотипа, происходящие под влиянием факторов внешней или внутренней среды.

Впервые термин «мутация» был предложен в 1901 г. голландским ученым Гуго де Фризом, описавшим самопроизвольные мутации у растений. Мутации появляются редко, но приводят к внезапным скачкообразным изменениям признаков, которые передаются из поколения в поколение.

Мутации могут затрагивать генотип в различной степени, и поэтому их делят на генные, хромосомные и геномные.

Генные, или точечные, мутации встречаются наиболее часто. Они возникают при замене одного или нескольких нуклеотидов в пределах одного гена на другие. В результате в деятельности гена происходят изменения, синтезируется белок с измененной последовательностью аминокислот и, следовательно, с измененными свойствами, а в итоге какой-то признак организма будет изменен или утрачен. Например, благодаря генным мутациям бактерии могут приобрести устойчивость к антибиотикам или другим лекарствам, изменить форму тела, цвет колоний и т. д.

Хромосомными мутациями называются значительные изменения в структуре хромосом, затрагивающие несколько генов. Например, может возникать так называемая *утрата*, когда отрывается концевая часть хромосомы и происходит потеря части генов. Такая хромосомная мутация в 21-й хромосоме у человека приводит к развитию острого лейкоза — белокровия, приводящего к смерти. Иногда из хромосомы «выстригается» и разрушается средняя ее часть. Такая хромосомная мутация называется *делеция*. Последствия

делеции могут быть различными: от смерти или тяжелого наследственного заболевания (если потеряна та часть хромосомы, которая содержала важные гены) до отсутствия каких-либо нарушений (если утеряна та часть ДНК, в которой нет генов, определяющих свойства организма).

Еще один вид хромосомных мутаций — удвоение какого-нибудь ее участка. При этом часть генов будет встречаться в хромосоме несколько раз. Например, у дрозофилы в одной из хромосом нашли восьмикратно повторяющийся ген. Такой вид мутаций — *дупликация* — менее опасен для организма, чем утрата или делеция.

При *инверсии* хромосома разрывается в двух местах и получившийся фрагмент, повернувшись на 180° , снова встраивается в место разрыва. Например, в участке хромосомы содержатся гены А-Б-В-Г-Д-Е-Ж. Между Б и В, Д и Е произошли разрывы, фрагмент ВГД перевернулся и встроился в разрыв. В результате участок хромосомы будет иметь структуру А-Б-Д-Г-В-Е-Ж. Наконец, возможен перенос участка одной хромосомы к другой, ей не гомологичной.

Геномные мутации. В этом случае в генотипе или отсутствует какая-нибудь хромосома, или, наоборот, присутствует лишняя. Чаще всего такие мутации возникают, если при образовании гамет в мейозе хромосомы какой-либо пары расходятся и обе попадают в одну гамету, а в другой гамете одной хромосомы не будет хватать. Как наличие лишней хромосомы, так и отсутствие ее чаще всего приводит к неблагоприятным изменениям в фенотипе. Например, при нерасхождении хромосом у женщин могут образовываться яйцеклетки, содержащие две 21-х хромосомы. Если такая яйцеклетка будет оплодотворена, то на свет появится ребенок с *синдромом Дауна*. Эти дети имеют очень характерную внешность, патологию внутренних органов, тяжелые умственные расстройства. К сожалению, дети с синдромом Дауна рождаются довольно часто.

Частным случаем геномных мутаций является *полиплоидия*, т. е. кратное увеличение числа хромосом в клетках в результате нарушения их расхождения в митозе или мейозе. Соматические клетки таких организмов содержат $3n$, $4n$, $8n$ и т. п. хромосом в зависимости от того, сколько хромосом было в гаметах, образовавших этот организм. Полиплоидия часто встречается у бактерий и растений, но очень редко — у животных. Многие виды культурных растений — поли-

плоиды. Так, полиплоидны три четверти всех культивируемых человеком злаков. Если гаплоидный набор хромосом (n) для пшеницы равен 7, то основной сорт, разводимый в наших условиях, — мягкая пшеница — имеет по 42 хромосомы, т. е. $6n$. Полиплоидами являются окультуренная свекла, гречиха и т. п. Как правило, растения-полиплоиды имеют повышенные жизнеспособность, размеры, плодовитость и т. п. В настоящее время разработаны специальные методы получения полиплоидов. Например, растительный яд из безвременника осеннего — колхицин — способен разрушать веретено деления при образовании гамет, в результате чего получают гаметы, содержащие по $2n$ хромосом. При слиянии таких гамет в зиготе окажется $4n$ хромосом.

подавляющее число мутаций неблагоприятны или даже смертельны для организма, так как они разрушают отрегулированный на протяжении миллионов лет естественного отбора целостный генотип.

Причины мутаций. Способностью к мутированию обладают все живые организмы. У каждой конкретной мутации есть какая-то причина, хотя в большинстве случаев мы ее не знаем. Однако общее количество мутаций можно резко увеличить, используя различные способы воздействия на организм. Факторы, вызывающие мутации, получили название *мутагенных*.

Во-первых, сильнейшим мутагенным действием обладает ионизирующее излучение. Радиация увеличивает число мутаций в сотни раз.

Во-вторых, мутации вызывают вещества, которые действуют, например, на ДНК, разрывая цепочку нуклеотидов. Есть вещества, действующие и на другие молекулы, но также дающие мутации. Выше уже упоминался колхицин, приводящий к одному из видов мутаций — полиплоидии.

В-третьих, к мутациям приводят и различные физические воздействия, например повышение температуры окружающей среды.

Из сказанного становится ясным, как важно, чтобы в жизни нас окружало как можно меньше факторов, вызывающих мутации. И уж совсем неразумно губить своих будущих детей, употребляя сильные мутагены. Например, токсикоманы для кратковременной потери чувства реальности принимают вещества, наносящие непоправимый ущерб множеству клеток организма, в том числе и тем пер-

вичным половым клеткам, из которых затем должны развиться яйцеклетки или сперматозоиды.

Таким образом, мутационная изменчивость имеет следующие основные характеристики:

1. Мутационные изменения возникают внезапно, и в результате у организма появляются новые свойства.

2. Мутации наследуются и передаются из поколения в поколение.

3. Мутации не имеют направленного характера, т. е. нельзя с достоверностью предсказать, какой именно ген мутирует под действием мутагенного фактора.

4. Мутации могут быть полезными или вредными для организма, доминантными или рецессивными.

Генные, хромосомные и геномные мутации. Утрата. Делеция. Дупликация. Инверсия. Синдром Дауна. Полиплоидия. Колхицин. Мутагенные вещества.

?

1. В чем основные различия между модификациями и мутациями?
2. Какие виды мутаций вы знаете?
3. Чем можно искусственно увеличить число мутаций?
4. Какие мутации встречаются чаще: полезные или вредные?

3.13. Основы селекции. Работы Н. И. Вавилова



1. Приведите примеры пород животных, выведенных человеком.
2. Приведите примеры сортов растений, полученных человеком.

Селекция — наука о методах создания новых сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов с нужными человеку признаками. Теоретические основы селек-

ции закладывает современная генетика. Селекция — одна из важнейших областей практического использования закономерностей, исследуемых генетиками. В результате селекционной работы «разрабатываются» новые формы бактерий, растений, грибов, животных, обладающие наследственно закрепленными особенностями, резко отличающими их от исходных диких видов. Очень часто у культурных растений и домашних животных отдельные признаки усилены настолько, что их жизнь в природных условиях, т. е. без постоянной помощи человека, делается невозможной. Так, например, не смогут выжить без человека декоративные породы собак и голубей, породы домашних свиней и кур, большинство сортов растений, употребляемых нами в пищу, и т. д. Но зато количество пищи, которое дают человеку искусственно разводимые животные и растения, во много раз больше, чем могли бы дать их дикие предки.

Пионером разработки научных основ селекционной работы в нашей стране был *Н. И. Вавилов* и его ученики. *Н. И. Вавилов* считал, что в основе селекции лежит правильный выбор для работы исходных особей, их генетическое разнообразие и влияние окружающей среды на проявление наследственных признаков при гибридизации этих особей.

Центры происхождения культурных растений. В поисках исходного материала для получения новых гибридов растений *Н. И. Вавилов* организовал в 20—30-е гг. XX в. десятки экспедиций по всему миру. Во время этих экспедиций *Н. И. Вавиловым* и его учениками было собрано более 1500 видов культурных растений и огромное количество их сортов. Анализируя собранный материал, *Н. И. Вавилов* заметил, что в некоторых районах наблюдается очень большое разнообразие сортов определенных видов культурных растений, а в других районах такого разнообразия нет. *Н. И. Вавилов* предположил, что район наибольшего генетического разнообразия какого-либо вида культурного растения является центром его происхождения и одомашнивания. Всего *Н. И. Вавилов* установил 8 центров древнего земледелия, где люди впервые стали выращивать дикие виды растений (рис. 56).

1. *Индийский (Южноазиатский) центр* включает в себя полуостров Индостан, Южный Китай, Юго-Восточную Азию. Этот центр — родина риса, цитрусовых, огурцов,

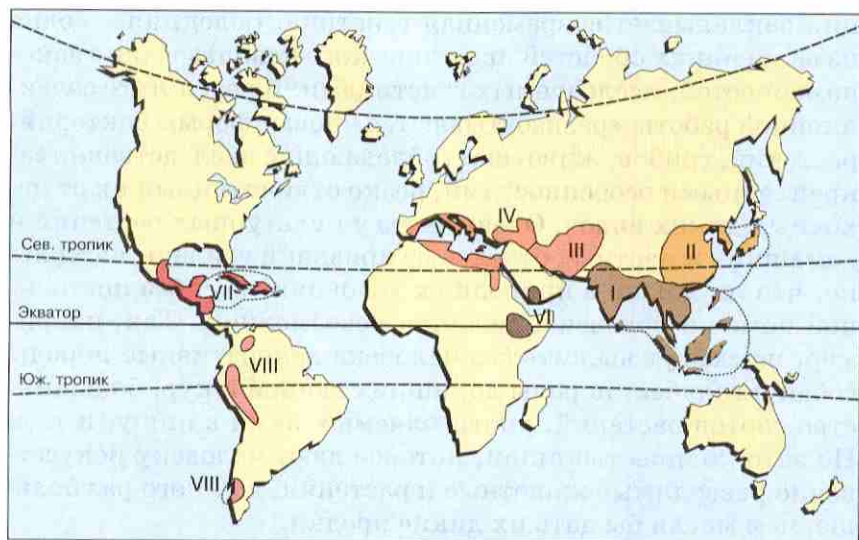


Рис. 56. Карта центров происхождения культурных растений по Н. И. Вавилову

баклажанов, сахарного тростника и многих других видов культурных растений.

2. *Китайский (Восточноазиатский) центр* включает в себя Центральный и Восточный Китай, Корею, Японию. В этом центре были окультурены человеком просо, соя, гречиха, редька, вишня, слива.

3. *Среднеазиатский центр* охватывает страны Средней Азии, Иран, Афганистан, Северо-Западную Индию. Это родина мягких сортов пшеницы, гороха, бобов, льна, конопли, чеснока, моркови, груши, абрикоса.

4. *Переднеазиатский центр* расположен в Турции и странах Закавказья. В этом районе были окультурены рожь, ячмень, роза, инжир.

5. *Средиземноморский центр* включает в себя европейские, африканские и азиатские страны, расположенные по берегам Средиземного моря. Здесь родина капусты, маслин, петрушки, сахарной свеклы, клевера.

6. *Абиссинский центр* расположен в относительно небольшом районе современной Эфиопии и на южном побережье Аравийского полуострова. Этот центр — родина твердых пшениц, сорго, бананов. По-видимому, из всех центров древнего земледелия Абиссинский центр является самым древним.

7. *Центральноамериканский центр* — это Мексика, острова Карибского моря и часть стран Центральной Америки. Здесь родина кукурузы, тыквы, хлопчатника, табака, красного перца.

8. *Южноамериканский центр* охватывает западное побережье Южной Америки. Это родина картофеля, ананаса, хинного дерева, томатов, фасоли.

На основании этих данных Н. И. Вавилов сделал два вывода. Во-первых, в различных районах Земли независимо одомашнивались разные, но близкие виды растений. Например, бобовые начали разводить и в Средней Азии (горох, бобы), и в Южной Америке (фасоль). Во-вторых, древние земледельцы выбирали для разведения всего 1—2 из многих диких видов.

Если взглянуть на карту центров происхождения культурных растений, то становится очевидным, что все эти центры совпадают с местами существования великих цивилизаций древности — Древнего Египта, Китая, Японии, Древней Греции, Рима, государств майя и ацтеков.

Закон гомологических рядов наследственной изменчивости. Анализ огромного количества культурных растений и их дикорастущих предков позволил Н. И. Вавилову сформулировать закон, устанавливающий параллелизм в наследственной изменчивости организмов и имеющий большое значение как для теоретической генетики, так и для практической селекции. Это обобщение, получившее название *закона гомологических рядов наследственной изменчивости*, выглядит так: «Генетически близкие роды и виды характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что, зная ряд форм в пределах одного вида, можно предвидеть нахождение параллельных форм у других родственных видов и родов».

Н. И. Вавилов исследовал изменчивость признаков у растений из семейства злаковых. Из 38 признаков, которые характерны для различных видов этого семейства (окраска колосковых чешуй и зерна, остистость и безостость, форма зерна, строение листьев, окраска всходов, озимость и яровость, холодостойкость и т. д.), у ржи Н. И. Вавилов обнаружил 37 признаков, у пшеницы — 37, у овса и ячменя — по 35, у кукурузы и риса — по 32 и т. д.

Этот закон позволяет предсказать существование диких растений с признаками, ценными для селекционной рабо-

ты. Например, до недавнего времени были известны лишь многосеменные сорта сахарной свеклы, у которых 3—5 семян срastaются в одно соплодие — клубочек. При прорастании таких соплодий лишние проростки приходилось удалять вручную. Однако у дикорастущих видов свеклы были обнаружены растения с односемянными плодами. Тогда, согласно закону Н. И. Вавилова, стали искать мутантные плоды с одним семенем у культурных видов свеклы. В результате обследования огромного числа растений удалось найти отдельные односемянные растения. На их основе были получены нынешние сорта сахарной свеклы с одним семенем.

Исходно закон касался изменчивости у растений, однако Н. И. Вавилов указывал на применимость его и к животным.

Селекция. Центры многообразия и происхождения культурных растений. Закон гомологических рядов наследственной изменчивости.

?

1. Почему теоретической основой селекции является генетика?
2. Почему большинство сортов культурных растений погибнет без человека?
3. Почему центры многообразия культурных растений совпадают с теми местами, где располагались великие древние цивилизации?

3.14. Основные методы селекции растений, животных и микроорганизмов



1. Для чего ведутся селекционные работы?
2. Приведите примеры хлебных злаков.

Основными методами селекции любых организмов являются гибридизация и отбор.

Гибридизация — это процесс скрещивания родительских особей и получение от них гибридов. В результате отбора сре-

ди этих гибридов находят особи с интересующими человека признаками.

В зависимости от способа размножения вида, отбор может быть массовым или индивидуальным.

При *массовом отборе* из потомства берут растения или животных с нужными признаками и снова скрещивают их между собой, получая гибриды второго поколения. Среди них опять производят массовый отбор особей с нужными признаками и т. д. Массовый отбор обычно применяют для перекрестноопыляемых растений и для животных. Так, например, были получены новые сорта ржи.

При *индивидуальном отборе* выбирают отдельную особь с интересующим человека признаком и получают от нее потомство. Такой метод, естественно, не может применяться при селекции животных, которые размножаются половым путем. Чаще всего методом индивидуального отбора создаются новые сорта самоопыляющихся растений, когда в размножении участвует только одна особь пшеницы, овса, ячменя. Потомство одной самоопыляющейся особи представляет собой *чистую линию*, которая благодаря самоопылению будет состоять из гомозиготных организмов. Если какое-то растение хорошо размножается вегетативным путем (черенком, отводком, прививками), то гетерозиготные особи можно сохранять очень долго. При половом размножении сортов, отличающихся высокой степенью гетерозиготности, ценные свойства сорта не сохраняются, и происходит их расщепление.

Так как у большинства сельскохозяйственных животных потомства бывает мало, то иногда для повышения его гомозиготности приходится производить *близкородственное скрещивание*, например скрещивать быка и корову, находящихся друг другу братом и сестрой. Такое скрещивание в какой-то степени сходно с самоопылением у растений. При близкородственном скрещивании часто появляется потомство с усиленным признаком, по которому велся отбор, но при этом другие признаки могут резко ухудшиться. Например, может быть снижен иммунитет к заболеваниям и т. п. Такие неблагоприятные последствия близкородственного скрещивания называют *депрессией*. Депрессия у потомства возможна и в тех случаях, когда самоопыляют перекрестноопыляемое растение.

При скрещивании между собой разных сортов растений или пород животных одного вида первое гибридное поколение отличается крупными размерами, повышенной устойчивостью и плодовитостью. Это явление получило название *гетерозиса*. К сожалению, при скрещивании гетерозисных растений или животных между собой следующие поколения такими выдающимися качествами не обладают, т. е. гетерозис быстро затухает.

Еще одним важным методом селекции является получение межвидовых гибридов, сочетающих в себе ценные свойства родительских видов. *Межвидовая гибридизация* затрудняется тем, что такие гибриды не могут размножаться половым путем. Ведь во время мейоза хромосомы должны сойтись гомологичными парами и конъюгировать между собой. А у особей, даже близких, но все-таки разных видов и число хромосом, и их форма отличаются друг от друга, и нормальная конъюгация невозможна. Один из способов преодолеть бесплодие межвидовых гибридов разработал замечательный отечественный генетик Г. Д. Карпеченко, работая с гибридом редьки и капусты. И у редьки, и у капусты гаплоидный набор равен 9 хромосомам. Гибрид имел 18 хромосом в каждой клетке (по 9 от капусты и от редьки) и был бесплодным, поскольку «капустные» и «редечные» хромосомы между собой конъюгировать в мейозе не могли. Тогда Г. Д. Карпеченко сумел получить полиплоид гибрида, который содержал в своих клетках по 36 хромосом: 18 «капустных» и 18 «редечных». Теперь в мейозе 9 «капустных» хромосом стали конъюгировать с 9 гомологичными «капустными» хромосомами, а 9 «редечных» — с 9 «редечными». В каждой гамете получалось по гаплоидному набору «редечных» и «капустных» хромосом ($9 + 9 = 18$), а при оплодотворении возникал межвидовой полиплоидный гибрид с 36 хромосомами в клетках. Таким образом, Г. Д. Карпеченко преодолел бесплодие межвидовых гибридов у растений.

Межвидовую гибридизацию применяют и в животноводстве. Например, с древности люди используют мула. Мул — гибрид кобылицы с ослом. Мулы бесплодны, но очень сильны, выносливы, долго живут, обладают спокойным нравом. При помощи межвидовой гибридизации

получен также гибрид пшеницы и ржи, названный тритикале. Тритикале дает много зерна и кормовой зеленой массы.

Многие культурные растения полиплоидны, т. е. их хромосомный набор увеличен кратно n и в клетках содержатся $3n$, $4n$ хромосом и т. д. Полиплоидные растения легче переносят засуху и колебания температуры, отличаются крупными размерами. Так, большинство растений, способных выжить в северных широтах или в высокогорье, являются полиплоидами. Однако у животных полиплоидия невозможна.

Важным способом получения новых сортов является *искусственный мутагенез*, когда, подвергая растения действию проникающего излучения и химических веществ, вызывающих мутации, пытаются получить организмы с новыми полезными свойствами. Таким путем были получены новые высокоурожайные сорта ячменя и пшеницы. Кроме того, при помощи искусственного мутагенеза выведены новые штаммы бактерий и разновидности грибов, выделяющие витамины, пищевые аминокислоты, антибиотики и т. п.

С каждым годом бактерии и одноклеточные эукариоты все больше и больше применяются в различных отраслях промышленности. Многие процессы производства пищевых продуктов, витаминов, лекарств основаны на деятельности микроорганизмов и грибов. Процессы получения необходимых человеку веществ с помощью живых клеток называют *биотехнологией*. Бактерии применяют для производства витаминов группы В, пищевых и кормовых белков, аминокислот, которых недостает в пище. Плесневые грибы выделяют несколько видов веществ, убивающих микробы. Общее название таких веществ — *антибиотики*. Микробы помогают выделять при переработке руды ценные металлы — золото, серебро, медь. Многие бактерии и грибы используются в сельском хозяйстве для борьбы с различными вредителями. Например, бактерия так называемого гнилокровия применяется для борьбы с вредителем леса — непарным шелкопрядом.

Для получения новых штаммов микроорганизмов применяют различные мутагены. Бактерии очень быстро размно-

жаются бесполом путем, и задача ученых состоит в том, чтобы отбирать микроорганизмы с полезными для человека свойствами.

Гибридизация. Массовый отбор.

Индивидуальный отбор.

Чистые линии. Близкородственное скрещивание.

Гетерозис. Межвидовая гибридизация.

Искусственный мутагенез.

Биотехнология. Антибиотики.

?

1. Перечислите методы селекционной работы.
2. Чем массовый отбор отличается от индивидуального?
3. Что такое гетерозис?

Краткое содержание главы

Единица жизни — клетка. Многие живые организмы представляют собой самостоятельно живущую клетку: бактерии, амёбы, эвглена зеленая, инфузория туфелька, хламидомонада. Нас окружают и многоклеточные животные, растения, грибы.

Любой организм — одноклеточный или многоклеточный — представляет собой сложную самостоятельную саморегулирующуюся живую систему. Он обменивается веществом и энергией с окружающей средой, способен к размножению. Многоклеточность дала живым организмам ряд преимуществ, главное из которых — дополнительная возможность выжить в неблагоприятных условиях. Если разрушить наружную мембрану амёбы, животное неминуемо погибнет, а вот разрушение одной или даже многих клеток у гидры не приведет к ее гибели. Многоклеточный организм можно сравнить с подводной лодкой, разделенной на многие отсеки. У каждого отсека есть свои особенности, но разрушение одного отсека не приведет к гибели подводного корабля.

У каждой клетки в организме есть свои задачи: одни клетки отвечают за движение организма, другие — за размножение, третьи — за оборону от врагов и захват пищи и т. д. Конечно, большое количество клеток многоклеточного ор-

организма справится с трудностями лучше, чем одна-единственная клетка бактерии или простейшего.

Все живые организмы размножаются. Размножение может быть бесполом и половым. Формы бесполого размножения: почкование, деление тела, образование спор, вегетативное размножение.

Половые клетки называются гамететами. Гамететы формируются в половых железах: сперматозоиды в семенниках, а яйцеклетки — в яичниках. Гамететы, образующиеся в результате мейоза, содержат гаплоидный (n) набор хромосом.

В процессе мейоза хромосомы удваиваются, а затем клетка два раза подряд делится, и в результате из одной диплоидной клетки возникает 4 гаплоидных.

Оплодотворенная клетка — зигота. Оплодотворение может быть наружным (вне организма) и внутренним (в организме самки).

У покрытосеменных растений двойное оплодотворение.

Индивидуальное развитие организма называется онтогенезом. Стадии эмбрионального периода онтогенеза: дробление, бластула, гастрюла, нейрула.

Организм формируется из трех зародышевых листков: эктодермы, энтодермы и мезодермы.

Закон зародышевого сходства: в пределах типа эмбрионы обнаруживают известное сходство.

Биогенетический закон: индивидуальное развитие особи (онтогенез) до определенной степени повторяет историческое развитие (филогенез) вида, к которому относится эта особь.

Генетика — это наука, изучающая наследственность и изменчивость живых организмов. Наследственность — это свойство всех живых организмов передавать свои признаки и свойства из поколения в поколение. Изменчивость — это свойство всех живых организмов приобретать в процессе развития новые признаки по сравнению с другими особями вида.

Элементарная единица наследственности — ген — является частью молекулы ДНК. Гены, ответственные за один и тот же признак, называются аллельными. Место расположения гена в хромосоме называется локусом. Если в клетках содержатся два одинаковых гена какого-либо признака, этот организм гомозиготен по этому признаку, а если гены разные, — гетерозиготен.

Совокупность всех генов организма — генотип. Совокупность всех признаков — фенотип. Тот из двух аллельных генов, который проявляется в фенотипе у гетерозигот, называется доминантным, а не проявляющийся — рецессивным.

Г. Мендель, используя гибридологический метод, установил основные законы наследственности: правило единообразия гибридов первого поколения, правило расщепления, закон чистоты гамет, правило независимого наследования признаков.

Если доминантный ген не до конца подавляет рецессивный, наблюдается неполное доминирование. Для установления генотипа особей, не различающихся по фенотипу, их скрещивают с рецессивной гомозиготной особью — это анализирующее скрещивание.

Т. Морган установил, что хромосомы представляют собой группы линейно сцепленных генов. Гены, находящиеся в одной хромосоме, при мейозе попадут в одну гамету и наследуются сцепленно. В мейозе хромосомы могут обмениваться аллельными генами. Это явление называется «перекрест хромосом».

Некоторые признаки организма определяются действием нескольких генов.

Половые хромосомы — это те хромосомы, которые различаются у самцов и самок.

Изменения организма, не затрагивающие генотипа и не передающиеся из поколения в поколение, — модификационная изменчивость. Пределы модификационной изменчивости — норма реакции. Наследуется не сам признак, а способность проявить этот признак в определенных условиях.

Изменения генотипа — мутации. Мутации бывают генные, хромосомные, геномные. Причины мутаций кроются во внешней среде и могут быть вызваны облучением, химическими и физическими воздействиями.

Селекция — наука о методах создания новых сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов. Теоретической основой селекции является генетика. Основы научных методов селекции в нашей стране заложил Н. И. Вавилов. Он обнаружил районы Земли, где были окультурены дикорастущие растения, установил, что генетически близкие группы характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости.

Основные методы селекционной работы — гибридизация и отбор.

Популяционно- видовой уровень



Из этой главы вы узнаете:

- *что такое биологический вид и каковы его критерии;*
 - *что называют популяцией;*
 - *почему важно изучать демографические характеристики популяций и что это такое;*
 - *как строится биологическая классификация и каким образом она связана с эволюцией живых организмов.*
-

4.1. Критерии вида



1. Что такое вид?
2. Какие виды растений или животных вы знаете?

Мир живых существ состоит из огромного количества различных друг от друга растений, животных, грибов, микроорганизмов. Все они должны добывать себе пищу, завоевывать жизненное пространство, размножаться. В процессе решения этих проблем живые организмы смогли образовать множество различных форм, каждая из которых приспособилась к жизни при определенных физических условиях и в определенном окружении. Люди давно обратили внимание на различия между окружающими их животными и растениями и пытались их систематизировать. Однако в древние времена при классификации организмов использовались не биологические, а другие принципы. Животных, например, делили на полезных, вредных, безразличных для человека. Растения — на дающих плоды, волокно или древесину.

С развитием биологии пришло понимание того, что виды представляют собой важные биологические единицы, которые необходимо классифицировать и изучать.

Видом называют совокупность организмов, характеризующихся общностью происхождения, обладающих наследственным сходством всех признаков и свойств и способных к бесконечному воспроизведению самих себя при скрещивании.

Английский натуралист Джон Рей был первым, кто попытался определить критерии, или признаки, по которым можно судить о принадлежности организма к данному виду (1700). Все индивидуумы, принадлежащие данному виду, считал Рей, могут свободно скрещиваться в природе и продуцировать потомство, относящееся к тому же самому виду. Даже если среди потомства в одном выводке появляются два отчетливо различных организма, они все равно будут принадлежать к одному виду. Все собаки, например, несмотря на то что разные породы внешне очень различаются, составляют один вид (рис. 57).

Великий шведский натуралист Карл Линней, создатель научной систематики, определял виды как целостные груп-



Рис. 57. Породы собак: боксер (вверху слева), колли (внизу слева), пекинес (вверху справа), чау-чау (внизу справа)

пы организмов, отличные от других жизненных форм по признакам строения. Иными словами, наличие черт строения, которые делают некоторую группу организмов похожими друг на друга и одновременно отличными от всех других групп, и есть критерий для причисления их к данному виду.

Критерии вида. Критериями вида называют характерные признаки и свойства, по которым одни виды отличаются от других. Признаки строения, которые использовал Линней для выделения видов, дают нам пример *морфологического*

критерия. В его основе лежит сходство внешнего и внутреннего строения организмов.

В основе *физиологического критерия* лежит сходство всех процессов жизнедеятельности, и прежде всего сходство размножения, что определяет возможность получения потомства при скрещивании.

Ни морфологическое, ни физиологическое сходство, однако, не могут служить достаточно надежными критериями вида. Так, например, со временем было установлено, что внешне неразличимые группы организмов могут принадлежать к разным видам. Ученые обнаружили так называемые *виды-двойники*, различающиеся лишь наборами хромосом. Виды-двойники встречаются среди самых разных организмов: рыб, насекомых, млекопитающих, растений.

Не всегда срабатывает и физиологический критерий; установлено немало разных видов, которые могут скрещиваться в природе, производя плодовитые гибриды. Это случается, например, при спаривании собак с волками. Плодовитыми могут быть гибриды некоторых видов птиц (канаарейки, зяблики), а также растений (тополя, ивы).

Поэтому помимо названных критериев при определении видовой принадлежности используются и другие.

Генетический критерий — характерный для каждого вида набор хромосом, их размеры, форма, состав ДНК.

Экологический критерий — место вида в природных сообществах организмов, его специализация, наборы факторов внешней среды, необходимых для существования вида.

Географический критерий — область распространения вида в природе (*ареал*).

Исторический критерий — общность предков, единая история возникновения и развития вида.

Не существует абсолютного критерия вида. Различные критерии связаны между собой и только в совокупности определяют целостность и единство вида. В природе эта целостность поддерживается благодаря репродуктивной изоляции, которая препятствует смешению видов. Такая изоляция обеспечивается множеством механизмов, например: различиями ареалов, разными сроками или местами размножения, особенностями поведения и многими другими.

Сколько видов на Земле. Со времен Карла Линнея, разработавшего систему классификации организмов, в мире было

описано 1,5 млн видов. Это существенно больше, чем ожидал сам Линней в XVIII в. В действительности же далеко не все из живущих на Земле видов описаны и систематизированы. Для такого вывода имеется несколько веских аргументов.

Около 1 млн видов (т. е. две трети от общего числа) обитают в зоне умеренного климата. Опыт показывает, что при более детальном изучении многих групп организмов удастся обнаружить много новых видов. Поэтому можно считать, что их реальное число больше того, что уже открыто, в полтора раза. Другими словами, потенциально в зоне умеренного климата обитает не 1, а 1,5 млн видов. Известно также, что в тропических областях видовое разнообразие выше, чем в умеренных, по крайней мере вдвое. Это означает, что не менее 3 млн видов живут в тропиках, но многие до сих пор не открыты и не описаны. Таким образом, в действительности Землю населяет в три раза больше видов, чем зарегистрировано на сегодняшний день: их никак не меньше 4—5 млн.

К сожалению, в наше время виды исчезают быстрее, нежели их успевают обнаружить и описать. Это происходит в результате разрушения мест обитания, особенно в тропиках, где из-за высокого обилия виды узкоспециализированы, т. е. приспособлены к жизни при строго определенных условиях внешней среды. Незначительные изменения хотя бы одного из этих условий (температуры, влажности, освещенности), связанные, например, с вырубками деревьев, строительством дорог, могут привести к полному исчезновению тех или иных видов растений и животных. Потери вида имеют огромное значение. Каждый из них неповторим и вносит свой уникальный вклад в формирование условий на Земле, которые, в свою очередь, влияют и на наше собственное существование как биологического вида.

Вид. Критерии вида: морфологический, физиологический, генетический, экологический, географический, исторический. Ареал.

?

1. Что такое вид?
2. Какие критерии вида вам известны?
3. Сколько видов обитает на нашей планете?

4.2. Популяции



1. Почему организмы большинства из известных нам видов живут в природе группами?
2. Почему группы организмов одного вида, например заросли лотика, крапивы, осоки и др., встречаются не повсеместно, а лишь на определенных участках? Какие это участки?

Популяция. Благополучное существование различных видов животных и растений требует подходящих условий и необходимых для поддержания жизни ресурсов. При перемещении особей из одной местности в другую и условия, и ресурсы могут меняться, причем некоторые факторы могут меняться плавно (как, например, температура при продвижении с юга на север), другие остаются без изменений (например, содержание диоксида углерода в воздухе), а третьи меняются скачкообразно (как это, например, происходит с изменениями состава и структуры почв).

Все это приводит к тому, что подходящие для того или иного вида условия формируются в пространстве как бы в виде отдельных островков. Виды заселяют эти подходящие им «островки», а потому распространены не равномерно, а отдельными группами — популяциями. В этом состоит своеобразие биологических видов — они существуют в форме популяций.

Популяция — это группа организмов одного вида, обладающих способностью свободно скрещиваться и неограниченно долго поддерживать свое существование в данном районе.

Популяции одного вида могут быть отделены друг от друга четкими границами (например, границы между популяциями водных организмов проходят по береговым линиям водоемов). У многих видов, обитающих в наземно-воздушной среде, границы между популяциями размыты. Известно, например, что границы территорий, занимаемых популяциями многих грызунов (леммингов, полевок и др.), зависят от численности этих животных. Они как бы пульсируют, расширяясь при возрастании обилия зверьков, и сокращаются при его снижении. Разные популяции одного и того же вида птиц контактируют на местах зимовок или во время миграций. Семена растений могут переноситься на большие расстояния животными, ветром и т. д.

Популяции — самовозобновляющиеся группы организмов, сохраняющие устойчивость во времени и пространстве. Стайку рыб или воробьев нельзя назвать популяцией: такие группы могут легко распадаться под влиянием внешних факторов или смешиваться с другими.

Понятие популяции в определенном смысле близко с понятием «племя», известным вам из курса истории.

Условия жизни в разных районах могут несколько различаться. Под влиянием этого в отдельных популяциях могут возникать и накапливаться свойства, отличающие их друг от друга. Это может проявляться в небольших различиях в строении организмов, их экологических, физиологических и других свойствах. Иными словами, популяции, как и отдельные организмы, обладают изменчивостью. Как и среди организмов, среди популяций невозможно найти две полностью тождественные.

Изменчивость популяций — важный фактор эволюции: она повышает внутреннее разнообразие вида, его устойчивость к локальным (местным) изменениям условий жизни, позволяет ему проникать и закрепляться в новых местах обитания. Можно сказать, что существование в форме популяции обогащает вид, обеспечивает его целостность и сохранение основных видовых свойств.

Популяции не живут изолированно. Они взаимодействуют с популяциями других видов, образуя вместе с ними *биотические сообщества* — целостные системы еще более высокого уровня организации.

Жизнь популяций изучает *экология* — наука об организации и функционировании надорганизменных систем. Главными вопросами, на которые пытается ответить эта наука, являются: от чего зависят численность и распределение организмов в популяциях тех или иных видов; как разные виды уживаются в природе и какое влияние они оказывают друг на друга; как происходит и к каким результатам приводит взаимодействие живых организмов с неживой природой.

Популяции — основные элементы экологических систем, представляющих совокупность совместно обитающих организмов и условий их существования.

Каждый вид играет в природе строго определенную роль. Занимая то или иное пространство, строя убежища, перемещаясь, используя те или иные виды пищи, вид определенным образом воздействует на окружающую природу, и это воздей-

ствие тем больше, чем больше особей насчитывает популяция вида. От популяций зависит круговорот веществ, энергетический обмен между живой и неживой природой. Совместная деятельность популяций определяет многие важные свойства биотических сообществ и экологических систем.

Демографические показатели. Популяцию можно с некоторой долей условности сравнить с организмом: она так же растет, дифференцируется, т. е. подразделяется на более мелкие подгруппы, изменяется вместе с изменением условий жизни. Одновременно она обладает особыми свойствами, присущими только группе особей в целом. Например, такие показатели, как *обилие* (общее число организмов), *рождаемость* (скорость прироста численности), *смертность* (скорость сокращения численности в результате гибели особей), *возрастной состав* (соотношение численности разновозрастных особей), нельзя применить к отдельным организмам, они могут характеризовать только популяцию в целом. Эти показатели называются *демографическими*. Их важно знать для понимания законов, управляющих жизнью популяций, прогнозирования происходящих в них постоянных изменений.

Составляющие популяцию организмы связаны друг с другом различными взаимоотношениями: они совместно участвуют в размножении, могут конкурировать друг с другом за те или иные виды ресурсов, могут поедать друг друга или вместе обороняться от хищника. Внутренние взаимоотношения в популяциях очень сложны. Поэтому при изменении тех или иных экологических факторов реакции отдельных особей и популяции в целом часто не совпадают. Так, гибель отдельных организмов (например, от хищников) может улучшить качественный состав популяции, повысить ее выживаемость. Жертвами хищника становятся в основном ослабленные особи, восприимчивые к инфекциям. Изъятие таких особей препятствует распространению болезней, которые могут стать губительными и для всей популяции. Здесь мы сталкиваемся с одним очень важным правилом, применимым к сложным биологическим объектам, состоящим из многих элементов, связанных друг с другом различными взаимоотношениями: *о состоянии биологической системы (будь то популяция, сообщество или экосистема) не всегда можно судить по состоянию ее отдельных элементов.*

Изучение демографических показателей имеет большое практическое значение. Так, при заготовках древесины очень

важно знать скорость восстановления леса, чтобы правильно планировать интенсивность рубок. Некоторые популяции животных используются для получения ценного пищевого или пушного сырья, изучение других важно с медико-санитарной точки зрения (например, популяции мелких грызунов — носителей возбудителя опасного для человека заболевания).

Во всех этих случаях нас интересуют прежде всего изменения популяции в целом, возможность прогнозировать эти изменения, регулировать их (например, снижение численности вредителей сельскохозяйственных угодий). Крайне необходимо для этого знать причины и скорость популяционных изменений, а также уметь измерять различные параметры этих природных объектов.

*Популяция. Группа. Самовоспроизводство.
Биотические сообщества. Экология.
Демографические показатели.*



1. Что такое популяция?
2. Почему биологические виды существуют в форме популяций?
3. Какие свойства могут характеризовать популяцию как группу организмов?
4. В чем состоит практическое значение изучения популяций? Приведите примеры.

4.3. Биологическая классификация



1. Назовите наиболее крупные систематические категории организмов.
2. Какие еще систематические категории вам известны? Приведите примеры из курсов зоологии и ботаники.

Люди всегда стремились к инвентаризации, к упорядочению всех окружающих их объектов, в том числе живых организмов. С появлением книгопечатания и развитием связей между людьми возникла необходимость в создании еди-

ной системы классификации, т. е. такой, которую признавали бы во всех странах и которая была бы применима ко всем видам организмов. Раздел биологии, который занимается описанием и классификацией организмов — как живых, так и вымерших, — называется *систематикой*, а специалисты в этой области — систематиками.

Традиционным научным языком Средневековья была латынь. Поэтому ботаники и зоологи использовали этот язык для названия организмов.

В любом видовом названии присутствует имя рода. Род объединяет наиболее близкие виды организмов, например: род Кошки, род Лошади, род Дубы и др. Первоначально видовое название состояло из множества слов. Этими словами описывались характерные видовые признаки. Например, один из видов североамериканского дуба (красный) назывался: «дуб с листьями, имеющими глубокие прорези, оканчивающимися волосоподобными зубчиками», а другой вид (ивовый) — «дуб с заостренными неразделенными листьями и с абсолютным отсутствием зубчиков по краю» (рис. 58).

Позднее, с середины XVIII в., укоренилось двойное название видов, которое используется и поныне. Первое слово, как и прежде, представляет собой название рода, например: «Собака», «Дуб», второе — вида (точнее, видовой эпитет), например: «Собака домашняя», «Дуб красный» и т. д.

Такая система названий существует около 200 лет. Своим появлением она обязана шведскому натуралисту Карлу Линнею (1707—1778). В попытках составить каталог всех видов организмов, живущих или живших на Земле, Лин-



Рис. 58. Строение листьев у различных видов дуба: красного (слева) и ивового (справа)

ней постарался построить его таким способом, чтобы он демонстрировал различия между организмами. Итогом работы Линнея стала стройная система классификации растительного и животного мира.

Систематические категории. Точно так же, как виды объединяются в роды, роды объединяются в семейства, семейства — в отряды, отряды — в классы, классы — в типы, типы — в царства. Каждая из категорий отражает сходство все более и более общих характеристик организмов. В класс млекопитающих, например, входят все позвоночные животные, имеющие молочные железы для вскармливания детенышей. К отряду хищников причисляются звери, питающиеся животной пищей и имеющие для этого специальные приспособления (клыки, когти и др.). По внешнему виду и образу жизни этот отряд распадается на разные семейства: собачьи, медвежьи, куньи и др. Сходные группы внутри семейства формируют роды, которые состоят из отдельных видов.

Такие системы, в которых высшие категории последовательно включают в себя более и более низкие категории, называются иерархическими (от греч. *hierós* — священный и *arche* — власть), т. е. системы, уровни которых соподчиняются по определенному правилу. Большинство биологических классификаций являются иерархическими.

Классификация и эволюция. Современная классификация является *естественной*, т. е. она отражает естественное родство организмов. Естественные классификации позволяют предсказывать наличие тех или иных свойств в зависимости от положения организма в системе. У всех представителей класса млекопитающих, например, имеются молочные железы, в полости среднего уха — по 3 слуховых косточки, венозный и артериальный токи крови полностью разделены и т. д. У всех представителей отряда хищных зверей хорошо развиты клыки, а пальцы заканчиваются когтями. Отличительной особенностью семейства собак является то, что когти у этих зверей не втяжные, и т. д. Искусственная система основывается на одном или нескольких признаках, естественная, в противоположность ей, основывается на многих признаках. Ученые полагают, что разработанная к настоящему времени система классификации организмов является *эволюционной*, т. е. каждая таксономическая категория — будь то растения, животные или микроорганизмы — соответствует группе организмов, которые имеют общего предка.

*Систематика. Двойное название видов.
Систематические категории.
Естественная классификация.*

?

1. Какова цель классификации организмов?
2. Что такое двойное название видов?
3. Что называют систематическими категориями?
4. Почему современная классификация называется естественной?

Краткое содержание главы

Английский натуралист Джон Рей был первым, кто попытался определить критерии, или признаки, по которым можно судить о принадлежности организма к данному виду. Все особи одного вида, считал Рей, могут свободно скрещиваться в природе и давать потомство того же вида.

Карл Линней, создавший научную систематику, определял виды как целостные группы организмов, отличные от других жизненных форм по признакам строения. Критериями вида называют характерные признаки и свойства, по которым одни виды отличаются от других. Существуют морфологический, физиологический, экологический, географический, генетический, исторический и другие критерии.

В природе виды распространены не равномерно, а отдельными группами — популяциями. Популяции — самовозобновляющиеся группы организмов, сохраняющие устойчивость во времени и пространстве. Они обладают собственными свойствами, которые присущи только группе особей в целом. Групповые характеристики, такие, как обилие, рождаемость, смертность, возрастной состав, называются демографическими показателями.

Виды объединяются в роды, роды — в семейства, семейства — в отряды, отряды — в классы, классы — в типы, типы — в царства. Каждая из таксономических категорий отражает сходство все более и более общих характеристик организмов. Разработанная к настоящему времени система классификации организмов является эволюционной, т. е. каждая таксономическая категория соответствует группе организмов, которые имеют общего предка.

Глава

5

ЭКОСИСТЕМНЫЙ уровень



Из этой главы вы узнаете:

- *о составе и основных свойствах экосистем;*
 - *о том, как происходит перенос энергии в сообществах;*
 - *о закономерностях продуцирования биологического вещества;*
 - *о направлениях и темпах изменений природных экосистем.*
-

5.1. Сообщество, экосистема, биогеоценоз



1. Что объединяет различные организмы, жизнь которых проходит на одной территории?
2. Почему воздействие, оказываемое на один или несколько видов растений или животных (вырубка леса, охота), часто приводит к нарушениям условий жизни всех остальных элементов сообщества организмов?

Популяции не живут изолированно. Они взаимодействуют с популяциями других видов, образуя вместе с ними целостные системы еще более высокого уровня организации — биотические сообщества, экосистемы. Эти образования развиваются по своим законам. Знание этих законов дает нам экология.

Элементы экосистем (живые организмы, их неживое окружение — почва, вода, воздух и др.) непрерывно взаимодействуют друг с другом. Экологическое изучение ставит целью выяснить, как поддерживается их устойчивое существование и развитие, какое влияние оказывают на них изменения различных факторов среды.

Сообществом (биоценозом) называется совокупность видов растений и животных, длительное время сосуществующих в определенном пространстве и представляющих собой определенное экологическое единство.

Сообщества — не случайные образования. Об этом свидетельствует то, что в сходных по географическому положению и природным условиям районах возникают похожие сообщества. Озера средней полосы, например, характеризуются большим сходством фауны и флоры. В составе рыбного населения можно легко обнаружить такие хорошо всем знакомые виды, как плотва, окунь, щука, ерш и др. При внимательном изучении обнаруживается не только сходство видов, но и сходство связей между ними. Эти связи чрезвычайно разнообразны. Входящие в сообщество виды снабжают друг друга всем необходимым для жизни — пищей, укрытиями, условиями для размножения. Взаимодействие

видов обеспечивает эффективное использование ресурсов сообщества, препятствует неконтрольному росту численности тех или иных организмов, т. е. выполняет роль регуляторов, поддерживающих устойчивое функционирование сложных природных систем.

Экосистема (от греч. *oikos* — жилище и *systema* — объединение) — это сообщество живых организмов вместе с физической средой их обитания, объединенные обменом веществ и энергии в единый комплекс.

Виды связаны не только друг с другом, но и с неживой природой. Эта связь осуществляется через вещество и энергию. Примером экосистемы может служить пруд, включающий сообщество его обитателей, физические свойства и химический состав воды, особенности рельефа дна, состав и структуру грунта, взаимодействующий с поверхностью воды атмосферный воздух, солнечную радиацию.

В экосистемах происходит непрерывный обмен энергией и веществом между живой и неживой природой. Энергия и вещество постоянно необходимы живым организмам, и они черпают их из окружающей неживой природы. Количества вещества и энергии, проходящие через живые организмы, чрезвычайно велики. Даже такой небольшой грызун, как полевая мышь, способен за свою жизнь съесть десятки килограммов зерна; рост растений сопровождается огромным потреблением воды и т. д. Совершенно ясно, что, если бы живые организмы безвозвратно заимствовали все необходимые им питательные вещества из неживой природы, ничего при этом не возвращая обратно, запасы питательных веществ на Земле иссякли бы и жизнь прекратилась. Этого не происходит, потому что питательные вещества постоянно возвращаются в окружающую среду в результате жизнедеятельности самих организмов. Поглощенные ими из окружающей среды питательные вещества претерпевают различные превращения, постепенно распадаясь на все более простые соединения, часть которых идет на построение самого организма, а остальные в виде продуктов обмена выделяются в среду. Здесь они могут усваиваться растениями. Таким образом, возникает устойчивый круговорот веществ, решающую роль в котором играют живые организмы.

При классификации наземных экосистем обычно используют признаки растительных сообществ, составляющих ос-

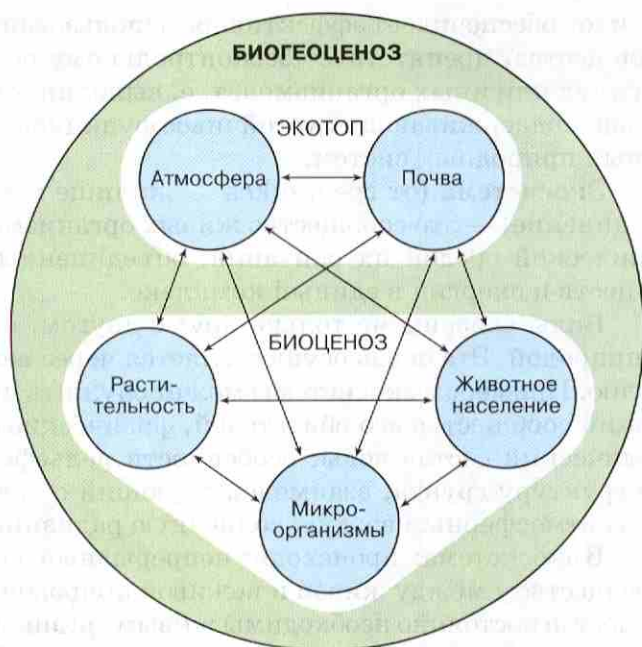


Рис. 59. Схема биогееоценозов

нову экосистем, и климатические (зональные) признаки. Так, выделяют определенные типы экосистем, например тундра лишайниковая, тундра моховая, лес хвойный (еловый, сосновый), лес лиственный (березняк), лес дождевой (тропический), степь, кустарники (ивняк), болото травянистое, болото сфагновое.

Растительные сообщества (и экосистемы) обычно не имеют резких границ и переходят друг в друга постепенно при изменении природных условий. Например, на границе лесов и тундры на севере нашей страны имеется переходная зона — лесотундра. Здесь чередуются редколесья, кустарники, сфагновые болота, луга. На границе леса и степи простирается зона лесостепи. Более увлажненные участки этой зоны заняты лесом, сухие — степью. От участка к участку меняется не только состав растительности, но и животный мир, особенности вещественно-энергетического обмена между организмами и физической средой их обитания.

Экосистема — очень широкое понятие, применимое как к естественным (например, тундра, океан), так и к искусственным (например, аквариум) комплексам.

Для обозначения элементарной природной экосистемы экологи часто используют термин «биогеоценоз» (от греч. *bios* — жизнь, *geo* — Земля, *koínós* — сообща, вместе). Биогеоценоз — составная часть природного ландшафта. Граница биогеоценоза устанавливается, как правило, по границе растительного сообщества (фитоценоза) — важнейшего компонента биогеоценоза (рис. 59).

Все природные экосистемы (биогеоценозы) связаны между собой и вместе образуют живую оболочку Земли, которую можно рассматривать как самую большую экосистему. Эта экосистема называется *биосферой*. Она охватывает часть атмосферы, часть литосферы и всю гидросферу. Целостное учение о биосфере создал выдающийся отечественный ученый В. И. Вернадский (1863—1945).

*Биотическое сообщество, или биоценоз.
Экосистема. Биогеоценоз. Биосфера.*

?

1. Какие из известных вам сообществ и экосистем имеют более или менее четкие границы?
2. Можно ли считать сообществом все популяции птиц, населяющие лесной массив?
3. Какие факторы неживой природы влияют на растительный и животный мир сообщества?

5.2. Состав и структура сообщества



1. Что такое ярусность растительного сообщества?
2. Как распределено животное население по ярусам в экосистеме леса?

Видовое разнообразие. О составе сообщества судят, прежде всего, по видовому разнообразию. Под разнообразием понимают видовое богатство сообщества.

Число видов в сообществе зависит от многих факторов, например от его географического положения. Оно заметно возрастает при продвижении с севера на юг. В тропическом лесу на одном гектаре можно встретить сотню видов птиц, тогда как в лесу умеренного пояса на той же площади число их не превышает десятка. Но в обоих случаях численность особей примерно одинакова. На островах фауна обычно беднее, чем на материках, причем она тем беднее, чем меньше остров и чем более он удален от материка.

Разнообразие живых организмов определяется как климатическими, так и историческими факторами. В районах с мягким устойчивым климатом, с обильными и регулярными осадками, без сильных заморозков и сезонных колебаний температур видовое богатство выше, чем в районах, находящихся в зонах сурового климата, — таких, например, как тундры или высокогорья.

Видовое богатство растет по мере эволюционного развития сообщества. Чем больше времени прошло с момента образования сообщества, тем выше его видовое богатство. Самую короткую историю имеют сельскохозяйственные сообщества, они создаются искусственно, время их существования измеряется несколькими месяцами. Но если крестьянское поле остается незасеянным и необработанным в течение двух-трех лет, оно приобретает совсем иной облик: повышается разнообразие, появляются новые виды насекомых, птиц, грызунов. Чем продолжительней развитие экосистемы, тем богаче ее видовой состав. В таком древнем озере, как Байкал, например, только лишь рачков-бокоплавов обитает 300 видов.

В любом сообществе, как правило, сравнительно мало видов, представленных большим числом особей или большой биомассой, и сравнительно много видов, встречающихся редко (рис. 60). Виды с высокой численностью играют огромную роль в жизни сообщества, особенно так называемые *виды-средообразователи*. В лесных экосистемах, например, к ним относятся виды преобладающих древесных растений; от них зависят условия, необходимые для выживания других видов растений и животных — трав, насекомых, птиц, зверей, мелких беспозвоночных лесной подстилки и др.

В то же время редкие виды часто оказываются лучшими показателями состояния сообщества. Это связано с тем, что для поддержания жизни редких видов требуются строго оп-

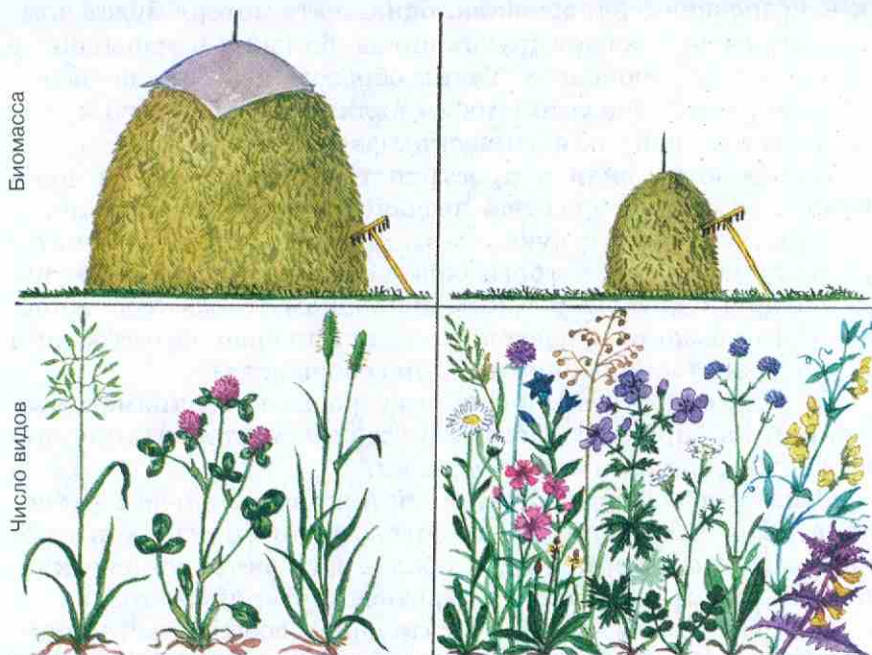


Рис. 60. Соотношение числа видов и их биомассы в биоценозах

ределенные сочетания различных факторов (например, температуры, влажности, состава почв, определенных видов пищевых ресурсов и др.). Поддержание необходимых условий во многом зависит от нормального функционирования экосистем, поэтому исчезновение редких видов позволяет сделать вывод о том, что функционирование экосистем нарушилось.

Видовое разнообразие может рассматриваться как показатель благополучия сообщества или экосистемы в целом. Его уменьшение часто указывает на неблагополучие гораздо раньше, чем изменение общего числа живых организмов. Кроме того, видовое разнообразие — признак устойчивости сообществ. В сообществах с высоким разнообразием многие виды занимают сходное положение, населяя один и тот же участок пространства, выполняя сходные функции в системе вещественно-энергетического обмена. В таком сообществе изменение условий жизни под действием, например, изменений климата или иных факторов может привести

к исчезновению одного вида, однако эта потеря будет компенсироваться за счет других видов, близких к выбывшему по своей специализации. Таким образом, чем больше разнообразие, тем более устойчивым является сообщество к внешним изменениям физических факторов или климата.

Морфологическая и пространственная структура сообществ. Любые сообщества, независимо от местоположения или состава присутствующих в нем видов, обладают некоторыми признаками, которые облегчают их анализ и сопоставление друг с другом. К таким признакам относят соотношение организмов с определенными типами внешнего строения и пространственную организацию сообщества.

Определенные типы внешнего строения организмов, возникшие как приспособления к условиям местообитания, называются *жизненными формами*.

Жизненные формы у растений и животных очень разнообразны. Они выделяются по совокупности признаков строения и образа жизни. Так, наиболее распространенные жизненные формы растений — деревья, кустарники, травы.

О характерных чертах растительного сообщества, например, можно судить по соотношению присутствующих здесь жизненных форм. Ведь число жизненных форм, как правило, существенно меньше числа образующих сообщество видов, а преобладание тех или иных форм характеризует общие условия жизни организмов. В засушливом климате преобладают суккуленты с мясистыми листьями или стеблями, при недостатке света в тропическом лесу — лианы, в тундрах, высокогорьях с низкой температурой, сухостью и при сильных ветрах — стланики и растения-подушки. Видовой состав листовенного и хвойного лесов различен, а по соотношению жизненных форм эти сообщества близки.

Набор жизненных форм, их соотношение определяют *морфологическую* (от греч. *morphé* — форма) *структуру* сообщества, по которой судят о его принадлежности к тому или иному типу, например лес, луг, кустарник.

Жизненные формы животных для разных систематических групп выделяют по разным признакам. У зверей одним из основных признаков для выделения жизненных форм считаются способы передвижения (ходьба, бег, прыжки, плавание, ползание, полет). Характерными чертами внешнего строения наземных прыгунов, например, являются длинные задние конечности с сильно развитой мускулату-

рой бедер, длинный хвост, короткая шея. К ним относятся обычно обитатели открытых пространств: азиатские тушканчики, австралийские кенгуру, африканские прыгунчики и другие прыгающие млекопитающие, живущие на разных континентах.

Жизненные формы водных организмов выделяют по типу их местообитаний. Обитателей водной толщи объединяют в особую жизненную форму *планктон* (от греч. *planktós* — блуждающий) — совокупность организмов, живущих во взвешенном состоянии и не способных противостоять течениям. В планктоне присутствуют как растительные (водоросли), так и животные (мелкие рачки) организмы. Обитатели дна образуют *бентос* (от греч. *bénthos* — глубина).

Различные жизненные формы определенным образом пространственно обособлены друг от друга. Это обособление характеризует *пространственную структуру* сообщества. Любое растительное сообщество, например, разделяется на ярусы — горизонтальные слои, в которых располагаются наземные или подземные части растений определенных жизненных форм. Особенно четко ярусность выражена в лесных фитоценозах, где насчитывается обычно 5—6 яру-

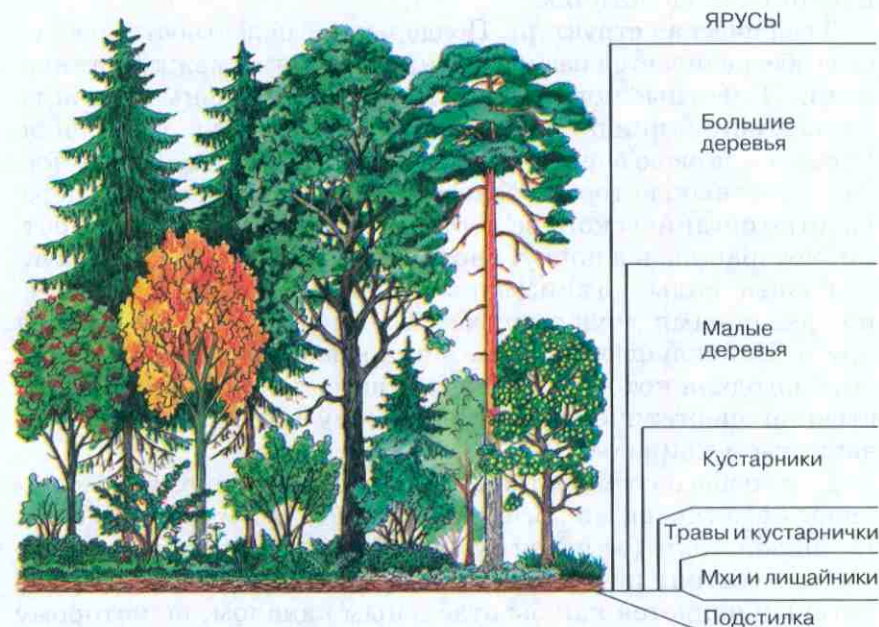


Рис. 61. Ярусность в лесу

сов (рис. 61). Но и в луговых или степных сообществах также можно выделить не менее двух-трех ярусов.

Животное население сообщества, «привязанное» к растениям, также распределено по ярусам. Например, микрофауна почвенных животных наиболее богата в подстилке. Разные виды птиц строят гнезда и кормятся в разных ярусах — на земле (трясогузка), в кустарниках (малиновка, соловей), в кронах деревьев (грачи, сороки).

По горизонтали сообщество также расчленяется на отдельные элементы — микрогруппировки, расположение которых отражает неоднородность условий жизни. Особенно хорошо это видно в структуре наземного (напочвенного) покрова — в наличии «мозаики» из различных микрогруппировок (например, кочки или куртинки трав, светолюбивые травы в «окнах» лесных полян, теневыносливые травы под деревьями, пятна мхов или голого грунта).

Морфологическая и пространственная структура сообщества является показателем разнообразия условий жизни организмов, богатства и полноты использования ими ресурсов среды. В определенной мере они характеризуют также устойчивость сообществ, т. е. их способность противостоять внешним воздействиям.

Трофическая структура. Поддержание целостности сообщества обеспечивается разнообразными связями между организмами. Животные могут использовать растительные организмы как источники пищи, убежища, строительный материал. Растения, в свою очередь, пользуются «плодами деятельности» животных, которые разносят их семена, участвуют в переработке органического вещества. Продукты этой переработки, возвращаясь в почву, вновь используются растениями.

Разные виды организмов в сообществе оказываются тесно связанными друг с другом, взаимозависимыми друг от друга. Наибольшее значение в природе имеют пищевые связи, благодаря которым осуществляется непрерывный вещественно-энергетический обмен между живым и неживым веществом природы.

Для любого сообщества можно составить схему всех пищевых взаимосвязей организмов. Эта схема имеет вид сети. *Пищевая сеть* (ее переплетения бывают очень сложными) обычно состоит из нескольких *пищевых цепей*, каждая из которых является как бы отдельным каналом, по которому передаются вещество и энергия (рис. 62).

Простым примером пищевой цепи является последовательность: *растение — растительноядное насекомое — хищное насекомое — насекомоядная птица — хищная птица*.

В этой цепи осуществляется односторонний поток вещества и энергии от одной группы организмов к другой. На рисунке 62 стрелками изображены потоки вещества в пищевой сети.

Разные виды занимают в пищевой цепи разное положение. Лишь зеленые растения способны фиксировать световую энергию и использовать в питании простые неорганические вещества. Такие организмы выделяют в самостоятельную

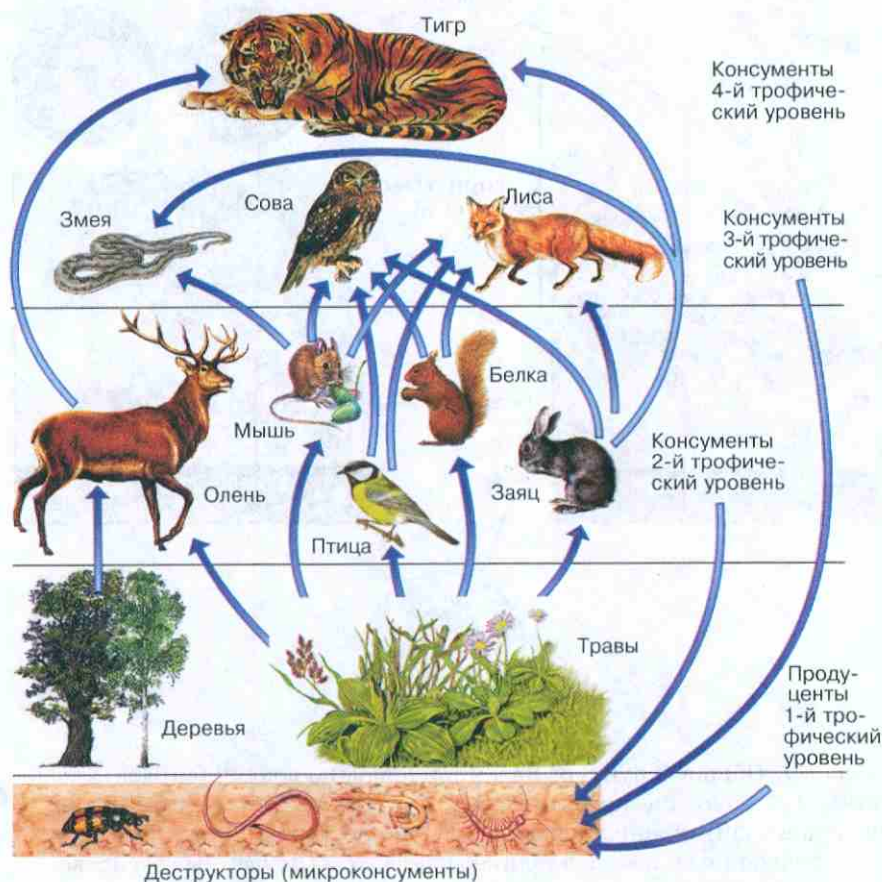


Рис. 62. Пищевая сеть и направление потоков вещества

группу и называют *автотрофами* (от греч. *autos* — сам и *trophe* — питание), или *продуцентами* — производителями биологического вещества. Они являются важнейшей частью любого сообщества, потому что практически все остальные организмы прямо или косвенно зависят от снабжения веществом и энергией, запасенными растениями. На суше автотрофы — это обычно крупные растения с корнями, тогда как в водоемах их роль берут на себя микроскопические водоросли, обитающие в толще воды (фитопланктон).

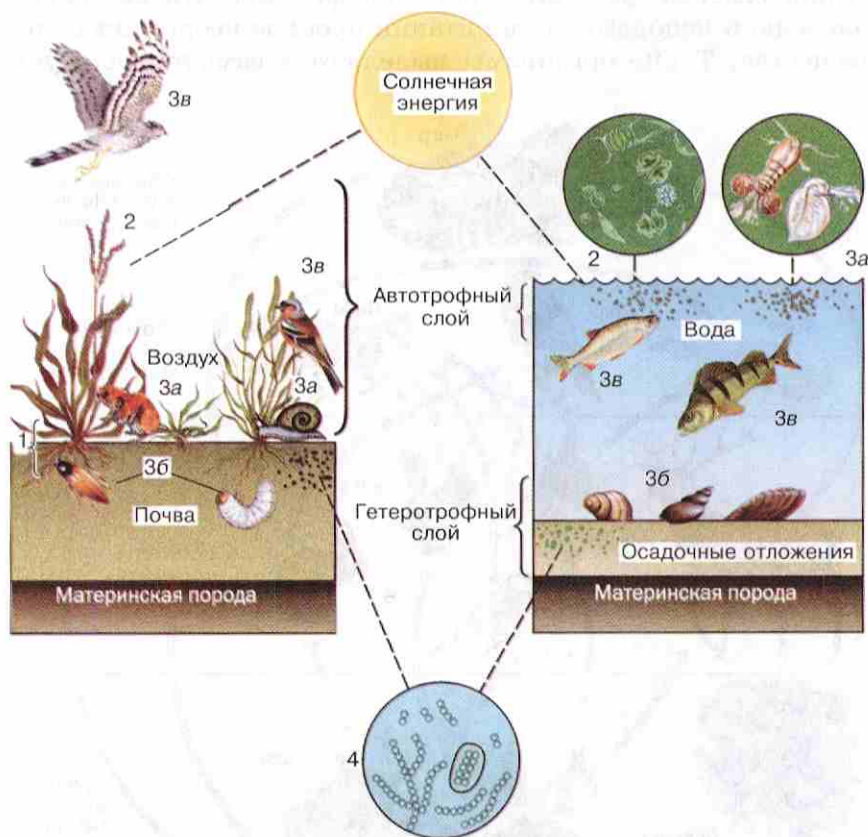


Рис. 63. Общая структура наземной (слева) и водной (справа) экосистем: 1 — абиотические факторы; 2 — продуценты (растительность на суше и фитопланктон в воде); 3 — консументы, или животные: *a* — травоядные, *b* — питающиеся детритом (почвенные беспозвоночные на суше, придонные беспозвоночные — в воде), *в* — верховые хищники; 4 — разлагатели

Все остальные организмы относятся к *гетеротрофам* (от греч. *héteros* — разный), питающимся готовыми органическими веществами. Гетеротрофы разлагают, перестраивают и усваивают сложные органические вещества, созданные первичными продуцентами. Все животные — гетеротрофы, к ним же относятся и многие микроорганизмы. В свою очередь, гетеротрофные организмы подразделяются на потребителей (консументов) и разлагателей (редуцентов). *Потребители* — это главным образом животные, питающиеся другими организмами (растительными или животными) или измельченными органическими веществами. *Редуценты* представлены в основном грибами и бактериями, разлагающими сложные составные компоненты мертвой цитоплазмы, доводя их до простых органических соединений, которые в последующем могут быть использованы продуцентами. Интенсивная гетеротрофная деятельность сосредоточена в тех местах, где скапливается органическое вещество в почве и иле.

Положение организма в пищевой цепи характеризуется его удаленностью от основного источника поступающей в сообщество энергии. Различные организмы занимают разное положение: в этих случаях говорят, что они располагаются на разных *трофических уровнях*. Автотрофы занимают первый трофический уровень, а гетеротрофы — все последующие трофические уровни: растительоядные организмы — второй, плотоядные — третий, хищники, питающиеся плотоядными животными, — четвертый и т. д.

Рисунок 63 упрощенно передает структуру двух типов сообществ, относящихся к наземной и к водной экосистемам. Эти сообщества коренным образом различаются по составу организмов, кроме некоторых бактерий, способных существовать и в той и в другой среде. Однако по трофической структуре они сходны: и там и здесь присутствуют основные экологические компоненты — автотрофы, гетеротрофы, консументы и редуценты (пояснения в тексте под рисунком).

Видовое разнообразие. Видовой состав.
Автотрофы. Гетеротрофы. Продуценты.
Консументы. Редуценты. Ярусность.
Редкие виды. Виды-средообразователи.
Пищевая цепь. Пищевая сеть.
Жизненные формы. Трофический уровень.



1. Какие факторы увеличивают видовое богатство сообщества?
2. Какое значение имеют редкие виды?
3. Какие свойства сообщества характеризует разнообразие видов?
4. Что такое пищевая цепь и пищевая сеть? В чем их значение?

5.3. Поток вещества и энергии в экосистеме



1. Приведите примеры разных пищевых цепей в лесном (озерном, степном) сообществах.
2. Какие процессы происходят при переходе с одного трофического уровня на другой?

Биологическое вещество, производимое зелеными растениями, и запасенная в нем энергия — источник жизни для всех слагающих сообщество видов. Передаваясь по цепям питания, и вещество и энергия претерпевают ряд превращений. Часть вещества может использоваться как материал для строительства тел организмов, питающихся растениями (которые, в свою очередь, поставляют такой же «строительный материал» хищникам). Вследствие отмирания организмов все биологическое вещество в конечном счете достается микроорганизмам, участвующим в превращении сложных органических соединений в простые, которые вновь используются растениями.

Строго измерить циркулирующее в экосистеме вещество можно, учитывая круговорот отдельных химических элементов, прежде всего тех, которые являются основным строительным материалом для цитоплазмы растительных и животных клеток. Подробнее этот вопрос будет рассмотрен в разделе о биосфере.

В отличие от веществ, которые непрерывно циркулируют в экосистеме и всегда могут вновь включаться в круговорот, энергия может быть использована только один раз. Солнце — практически единственный источник всей энергии на Зем-

ле. Однако не вся энергия солнечного излучения может усваиваться и использоваться организмами. Лишь около половины обычного светового потока, падающего на зеленые растения (т. е. на продуценты), поглощается фотосинтетическими элементами, и лишь малая доля поглощенной энергии (от 1 до 5%) запасается в виде биохимической энергии — энергии, заключенной в тканях растения. Большая часть солнечной энергии теряется в виде тепла.

При перемещении энергии по пищевой цепи с одного уровня на другой скорость ее потока (т. е. количество энергии, перешедшей с одного трофического уровня на другой в единицу времени) резко снижается в силу ряда причин. Часть заключенной в пище энергии вообще не усваивается и выводится из организма с экскрементами, часть теряется в процессе биохимической трансформации пищи. Кроме того, далеко не все организмы данного трофического уровня будут съедены потенциальными хищниками и, следовательно, не вся энергия, запасенная в их тканях, перейдет на следующий трофический уровень. Наконец, много энергии, полученной с пищей, тратится на работу, которую выполняет животное, перемещаясь, охотясь, строя гнездо или производя иные действия, в результате чего выделяется тепло.

Потери энергии при переходе с одного трофического уровня на другой (более высокий) определяют количество этих уровней и соотношение численности хищников и жертв. Подсчитано, что на любой трофический уровень поступает лишь около 10% (или чуть более) энергии предыдущего уровня. Поэтому общее число трофических уровней редко превышает три-четыре.

Пирамиды численности и биомассы. Соотношение живого вещества на разных уровнях подчиняется в целом тому же правилу, что и соотношение поступающей энергии: чем выше уровень, тем ниже общая биомасса и численность составляющих ее организмов. Графически это можно изобразить в виде пирамиды (рис. 64). Такие пирамиды называют *пирамидами численности и биомассы*.

Соотношение численности разных групп организмов дает представление об устойчивости сообщества, ведь биомасса и численность некоторых популяций являются одновременно и показателем величины жизненного пространства для организмов данного и других видов. Например, число деревь-



Рис. 64. Пирамиды численности

ев в лесу определяет не только общий запас заключенной в них биомассы и энергии, но и микроклимат, а также количество убежищ для многих насекомых и птиц.

Пирамиды численности отражают только плотность организмов на каждом трофическом уровне, но не скорость самовозобновления организмов. Если скорость размножения популяции жертвы высока, то даже при низкой биомассе такая популяция может быть достаточным источником пищи для хищников, имеющих более высокую биомассу, но низкую скорость размножения.

По этой причине пирамиды численности могут быть перевернутыми, т. е. плотность организмов в данный конкретный момент времени на низком трофическом уровне может быть ниже, чем плотность организмов на высоком уровне.

Например, на одном дереве может жить и кормиться множество насекомых (перевернутая пирамида численности). Перевернутая пирамида биомассы свойственна водным экосистемам, где первичные продуценты (фитопланктонные водоросли) очень быстро делятся, а их потребители (зоопланктонные ракообразные) гораздо крупнее, но имеют длительный цикл воспроизводства.

Пирамида численности и биомассы.



1. Какую роль в сообществе играют автотрофные организмы? Какую — гетеротрофные?
2. Какому правилу подчиняется изменение скорости потока энергии по пищевой цепи?
3. Что такое перевернутая пирамида численности?
4. Назовите виды животных и растений, занимающих смежные трофические уровни и находящихся в единой пищевой цепи.

5.4. Продуктивность сообщества



1. От чего зависит и как измеряется плодородие сельскохозяйственного участка?
2. Как изменяется плодородие в различных географических зонах Земли?

Продуктивность. Продукция. Важным функциональным показателем сообществ является их способность к созданию (продуцированию) новой биомассы. Это свойство лежит в основе понятия *продуктивность*, сходного по смыслу с понятием *плодородие*, которое используется по отношению к сельскохозяйственным или иным экосистемам, чье функционирование подчинено потребностям человека (как, например, рыбоводство, лесоразведение).

Прирост биомассы сообщества выражают суммарным приростом биомассы его элементов (автотрофного и гетеротрофного компонентов, отдельных трофических уровней, популяций каких-либо видов). Скорость продуцирования биомассы определяют в экологии специальным показателем — *продукцией*. В популяции продукция — это общая (суммарная) величина приращения ее биомассы за единицу времени. Продукция трофического уровня — это суммарная продукция всех популяций, занимающих этот уровень.

Собственно продуцирование, или синтез нового биологического вещества, происходит за счет роста организмов и рождения новых особей. И тот и другой процесс требует определенных затрат энергии и вещества.

Автотрофы получают эти ресурсы, используя свободную энергию солнечного излучения и запасы минеральных ве-

ществ. Ресурсом гетеротрофов являются организмы предшествующих трофических уровней.

Продуцирование — непрерывный процесс. Общий прирост биомассы, или *общая продукция*, за тот или иной временной отрезок складывается из приростов массы не только выживших, но и погибших в течение этого интервала особей, ибо они тоже росли и тем самым участвовали в формировании продукции сообщества.

Фактическая скорость наращивания биомассы, или *чистая продукция*, всегда меньше общей энергии, полученной организмами с пищей, так как некоторая ее часть теряется при отмирании организмов или расходуется на выполняемую ими работу. В экологии эти расходы называют *дыханием*.

В сообществе, сохраняющем устойчивое состояние, фактическая продукция данного трофического уровня должна покрывать пищевые потребности организмов следующего уровня; в противном случае общий запас биологического вещества данного трофического уровня будет неуклонно снижаться из-за выедания.

Как и энергия, продукция резко убывает при переходе от низших трофических уровней к высшим.

Продукцию чаще всего выражают в энергетических эквивалентах (например, в джоулях или калориях на 1 м² за одни сутки) или в количестве сухого (обезвоженного) органического вещества (например, в килограммах на 1 га за один год).

Первичная продукция — это скорость образования органического вещества первичными продуцентами (растениями). Количество органического вещества оценивается его массой или энергией, запасенной в этом веществе. Общая масса живых организмов называется биомассой. Соответственно первичную продукцию оценивают величиной биомассы, произведенной за единицу времени. Чистая первичная продукция (т. е. фактический прирост биомассы растений) всегда меньше энергии, зафиксированной в процессе фотосинтеза. Именно первичную продукцию растений потребляют гетеротрофы — бактерии, грибы, животные.

Вторичной продукцией называют скорость продуцирования биомассы гетеротрофами.

Продуктивность и плодородие экосистем. Изучение продуктивности — крайне важное направление экологических исследований. В течение 10 лет (с 1964 по 1974 г.) во всем

мире проводился согласованный сбор данных о продуктивности экосистем и о влияющих на нее факторах. Он проходил в рамках Международной биологической программы, выполнение которой сыграло важную роль в понимании человечеством возможных способов повышения своего благосостояния. Оно позволило получить более точные сведения о продуктивности суши, пресных и соленых вод. Эти данные потребовались в связи с быстрым ростом народонаселения и были необходимы для создания рациональной системы управления природными ресурсами.

Общая годовая продукция наземной растительности оценивается приблизительно в 180—200 млрд т, основная доля ее приходится на тропическую зону. Годовая продукция фитомассы океана составляет около 50—100 млрд т.

Таким образом, хотя океан занимает более $\frac{2}{3}$ поверхности земного шара, он дает только $\frac{1}{3}$ всей продукции биосферы.

В океане основным продуцентом биомассы является фитопланктон — одноклеточные растительные организмы. Они обладают большой скоростью воспроизводства, поэтому их годовая продукция в десятки и сотни раз превышает запас их фитомассы. Вся первичная продукция быстро вовлекается в цепи питания, поэтому накопление фитомассы незначительно. В то же время в океане происходит накопление зоомассы. Таким образом, здесь по сравнению с сушей пирамида биомасс имеет перевернутый вид.

Продуктивность.

Чистая, первичная и вторичная продукция. Дыхание.

?

1. Будет ли устойчивым сообщество, если продукция одного трофического уровня превысит пищевые потребности организмов следующего уровня? Какие процессы могут происходить в этих случаях?
2. Будет ли сохраняться неизменной величина популяции, если хищники за год выедают такое количество животных, биомасса которых равна по величине их общей годовой продукции?

5.5. Саморазвитие экосистемы



1. Какими изменениями в составе животного и растительного населения сопровождается образование верхового болота?
2. В чем сходство этого процесса с процессом зарастания покинутого сельскохозяйственного поля?

Экологическая сукцессия. Если прекратить возделывать когда-то отвоеванное у леса пахотное поле, то лес, ранее занимавший эту территорию, вновь вернется сюда. Однако прежде на этом месте возникнет ряд сообществ, которые, сменяя друг друга, подготовят дорогу лесу. Эти сменяющие друг друга сообщества можно уподобить стадиям развития, через которые проходят многие организмы, прежде чем достигнут зрелости.

Последовательная смена одних сообществ другими на определенной территории носит название *экологической сукцессии* (буквально — преемственность) и является закономерной. Сукцессия управляется самим сообществом и не зависит от местоположения или видовой принадлежности составляющих его организмов.

Для того чтобы понять природу экологической сукцессии, представим себе сообщество, в котором общий прирост биомассы автотрофов за единицу времени в энергетическом выражении точно соответствует количеству энергии, необходимому для поддержания жизни всех составляющих его организмов. Биомасса организмов в такой системе остается постоянной, а сама система — неизменной, или *равновесной*. Весь прирост биомассы будет потрачен на поддержание жизнедеятельности организмов.

Можно представить себе различные типы равновесия.

Первый из них характерен для *замкнутого сообщества*: сюда не поступает никакая дополнительная биомасса, а собственная продукция сообщества (суммарный прирост биомассы) целиком расходуется на поддержание его жизни. Равновесие здесь подобно рассмотренному выше случаю.

Второй тип равновесия присущ некоторым экосистемам текучей воды, органическое вещество которых возникает не

только в результате деятельности автотрофов, но и благодаря притоку извне. Равновесие здесь означает, что расходы на поддержание жизни сообщества равны приросту биомассы собственных автотрофов плюс биомассе органического вещества, поступившего извне.

В сельскохозяйственных экосистемах (третий тип равновесия), наоборот, имеет место постоянное изъятие части урожая. Поэтому в таких экосистемах равновесие достигается лишь в том случае, если общие энергозатраты организмов равны той величине прироста биомассы автотрофов, которая остается в системе после изъятия урожая.

Если общий расход энергии на поддержание жизни сообщества меньше прироста биомассы продуцентов, в экосистеме будет происходить накопление органического вещества, если больше — его убыль.

И то и другое будет приводить к изменениям сообщества. При избытке ресурса всегда найдутся виды, которые смогут его освоить. При недостатке ресурса часть видов вымрет. Такие изменения и составляют сущность экологической сукцессии.

Главная особенность экологической сукцессии состоит в том, что изменения сообщества всегда происходят в направлении, возвращающем его к равновесному состоянию.

Развитие леса на оставленном поле является примером сукцессии, происходящей в ясно выраженном автотрофном состоянии, ибо в первый момент появляются автотрофные организмы.

Примером сукцессии другого рода являются процессы, происходящие в реке, загрязненной большим количеством органических веществ (например, с соседнего поля в реку дождями смыло внесенные органические удобрения). Избыточное органическое вещество в этом случае начнут активно использовать гетеротрофы, они станут размножаться, увеличивая свою численность. Обилие гетеротрофов приведет к тому, что органическое вещество будет потребляться быстрее, чем оно создается в данной реке естественным путем. В конце концов излишки органики будут использованы, и численность гетеротрофов вновь постепенно вернется к естественному уровню (т. е. будет определяться продукцией автотрофов).

Каждая стадия сукцессий представляет собой определенное сообщество с преобладанием тех или иных видов и жизненных форм. Они сменяют друг друга, пока не наступит *состояние равновесия*. Сукцессия, которая начинается на лишенном жизни месте (например, на вновь образовавшейся песчаной дюне), называется *первичной сукцессией*. Термин *вторичная сукцессия* относится к сообществам, которые развиваются на месте уже существовавшего ранее сформированного сообщества.

Как пример первичной сукцессии можно назвать поселение накипных и листоватых лишайников на камнях. Со временем выделения лишайников образуют на каменистом субстрате некое подобие почвы, где поселяются все более высокоорганизованные растения — кустистые лишайники, зеленые мхи, травы и другие растения.

Примером вторичной сукцессии являются изменения, происходящие после раскорчевки и запашки площадей, занятых прежде лесом (если, конечно, распаханый участок оставлен и впоследствии не обрабатывается), или после порубки леса, устройства пруда и т. д.

Скорость изменений при вторичной сукцессии гораздо выше, чем при первичной. Это объясняется тем, что первичное сообщество оставляет после себя достаточное количество питательных веществ, развитую почву, что значительно ускоряет рост и развитие новых поселенцев.

Значение сукцессий. В ходе сукцессии облик сообщества постоянно меняется. Меняется и функционирование экосистемы. Сукцессия — это закономерный и направленный процесс, поэтому общие изменения, происходящие на той или иной ее стадии, свойственны любому сообществу и не зависят от его видового состава или географического местоположения. В качестве главных можно назвать следующие четыре типа сукцессионных изменений.

Первое изменение состоит в том, что виды растений и животных в процессе сукцессии непрерывно сменяются. На рисунке 65 схематично показана картина изменений видового состава растительного сообщества в ходе вторичной сукцессии на покинутом земельном участке.

Изменение видового состава часто определяется соперничеством разных видов за одни и те же пищевые или иные

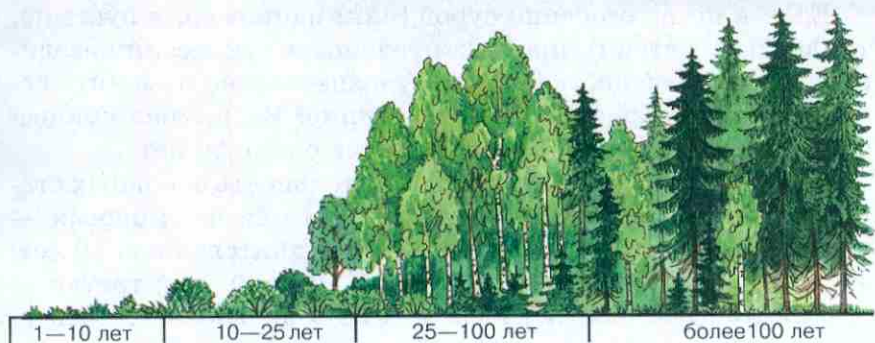


Рис. 65. Общая картина сукцессии на покинутом сельскохозяйственном участке

ресурсы; ведь происходящие в ходе сукцессии изменения экосистемы создают благоприятные условия для колонизации сообщества новыми видами. По этой причине сукцессионные изменения всегда сопровождаются повышением видового богатства, т. е. разнообразия организмов. Это — второе важное сукцессионное изменение.

К третьему следует отнести увеличение биомассы органического вещества. Население сообщества как бы уплотняется по мере увеличения видового богатства. Вспомните, каким плотным ковром травы покрывают лесные поляны, каким густым бывает старый лес, как много там видов растений, как тесно они уживаются.

Наконец, четвертое изменение состоит в снижении скорости прироста биомассы сообщества (продукции сообщества) и в увеличении количества энергии, требуемой для поддержания его жизни. Это наиболее важное явление сукцессии. На ранних стадиях первичной сукцессии скорость прироста биомассы растениями высока, но на последующих стадиях она падает.

Продолжительность сукцессии во многом определяется структурой сообщества. Изучение первичной сукцессии на таких местах, как песчаные дюны, свидетельствует о том, что в этих условиях для достижения равновесия требуются многие сотни лет. Вторичные сукцессии, например на вырубках, протекают гораздо быстрее. Все же требуется не менее 200 лет, чтобы в условиях умеренного влажного климата смог восстановиться лесной массив.

Если климат особенно суров (как, например, в пустыне, тундре или в степи), продолжительность сукцессий невелика, так как сообщество не может существенно изменить неблагоприятное физическое окружение. Вторичная сукцессия в степи, например, продолжается около 50 лет.

На рисунке 65 указана продолжительность основных стадий вторичной сукцессии в умеренном климате: первая — стадия травянистой растительности — длится около 10 лет; вторая — стадия кустарников — от 10 до 25 лет; третья — стадия лиственных деревьев — от 25 до 100 лет; четвертая — стадия хвойных деревьев — более 100 лет.

На ход сукцессии могут оказывать влияние периодические изменения климата, бури, засухи, пожары, часто случайные изменения. Так, например, пожар может не только прервать сукцессию, но и вернуть систему в начальное состояние.

Зрелые стадии сукцессии являются более стойкими по сравнению с ранними. Засуха может сильно влиять на раннюю стадию сукцессии, например на посевы ржи или пшеницы. На лесной биоценоз в устойчивой фазе существования она оказывает гораздо меньшее влияние (если, конечно, засуха не повторяется год от года).

Значение экологической сукцессии. Зрелое, т. е. достигшее состояния равновесия, сообщество отличается от молодого (т. е. такого, где жизнь только начала развиваться) высокой насыщенностью организмами, их разнообразием, более развитой трофической структурой, уравновешенностью между энергией, получаемой извне и используемой для поддержания жизни. Это позволяет ему противостоять изменениям многих физических факторов (например, температуры или влажности) и даже некоторым видам химических загрязнений. Ведь организмы, воздействуя на свою среду, меняют ее свойства, делают ее более приспособленной для жизни. В то же время почти вся энергия, доступная организмам, составляющим зрелое сообщество, тратится на поддержание их жизнедеятельности.

Молодые сообщества, наоборот, более уязвимы по отношению к внешним воздействиям. Однако молодое сообщество способно продуцировать новую биомассу в гораздо больших количествах, чем зрелое. Прекрасный пример — поле, засеянное пшеницей. Если погодные условия благоприятны и в почве достаточно питательных веществ, урожай будет хо-

роший. Но стоит появиться сорнякам (если оставить поле без обработки) — урожай снизится. Если дать сообществу развиваться естественным путем и дальше, то со временем на этом поле появятся не только новые травы, но и кустарники и даже деревья. Пшеницы будет все меньше, снизится и общий прирост массы растений. Питательные вещества и энергия будут расходоваться в основном на поддержание жизни.

Человек может собирать богатый урожай в виде чистой продукции, искусственно поддерживая сообщество на ранних стадиях сукцессии. Это требует больших затрат энергии. Ведя сельскохозяйственное производство, человек использует энергию машин и механизмов, собственного труда для поддержания сельскохозяйственного сообщества (например, поля, засеянного пшеницей) на ранней стадии сукцессии. Человек препятствует проникновению в это сообщество других видов, которые могут конкурировать с пшеницей за питательные ресурсы или потреблять биомассу растений на свои нужды. Ведь в зрелом сообществе годовой прирост биомассы растений расходуется в основном на дыхание растений и животных и может быть даже равен нулю.

С другой стороны, с точки зрения человека, устойчивость сообщества на стадии равновесия, его способность противостоять воздействию физических факторов (и даже управлять ими) является важным свойством.

Пахотные земли, например, являются молодыми сукцессионными стадиями. Они поддерживаются в таком состоянии благодаря непрерывному труду земледельца. Леса же представляют собой более старые, более разнообразные и более стабильные сообщества.

Чрезвычайно важно, чтобы обоим типам экосистем человек уделял одинаковое внимание. Если уничтожить лес в погоне за временным доходом от древесины, уменьшатся запасы воды и почва будет снесена со склонов. Это снизит продуктивность равнинных районов. Иными словами, леса представляют для человека ценность не только как поставщики древесины или источник дополнительных площадей, которые могут быть заняты культурными растениями.

Люди все еще слабо осознают последствия экологических нарушений, совершаемых в погоне за экономической выгодой. Даже тех знаний, которые накоплены экологией в настоящее время, достаточно для уверенности в том, что пре-

вращение нашей биосферы в один обширный ковер пахотных земель таит в себе огромную опасность. Для нашего собственного выживания определенные ландшафты должны быть представлены естественными сообществами.

*Экологическая сукцессия. Равновесие.
Первичная сукцессия. Вторичная сукцессия.*

?

1. В чем заключается главная особенность экологической сукцессии?
2. В чем различия между первичной и вторичной сукцессиями? Приведите примеры.
3. Назовите главные типы сукцессионных изменений.
4. Какими факторами определяется продолжительность сукцессии?

Краткое содержание главы

Сообщество, экосистема, биогеоценоз, биосфера — крупные природные системы, обладающие рядом собственных свойств и функционирующие как целостные природные объекты. Соотношение элементов природных экосистем определяет их структуру (видовую, пространственную, трофическую), от которой зависят особенности переноса энергии и круговорота веществ. По типу питания организмы делятся на автотрофов («самопитающихся») и гетеротрофов (питающихся готовыми органическими веществами).

Основным каналом переноса энергии в сообществе является пищевая цепь. Перенос энергии по пищевой цепи никогда не бывает полным: часть ее рассеивается. Изменения интенсивности потоков энергии приводят к характерным соотношениям численности и биомассы организмов, занимающих разные трофические уровни. Чем выше трофический уровень, тем ниже общая биомасса и численность составляющих его организмов. Важнейшим показателем сообщества является его продуктивность.

Сообщества изменяются во времени. В ходе этих изменений, называемых экологической сукцессией, достигается сбалансированность и повышается устойчивость природных систем.

Глава

6

Биосферный уровень



Из этой главы вы узнаете:

- *о биосфере и особенностях существования организмов в различных ее средах;*
 - *об основных видах средообразующей деятельности организмов и биогеохимических циклах;*
 - *об основных закономерностях эволюции биосферы.*
-

6.1. Биосфера. Среды жизни



1. Что такое биосфера?
2. Какие среды жизни вам известны?
3. В чем состоят особенности жизни организмов в той или иной среде?

Понятие биосферы. Все природные экосистемы (биогеоценозы) связаны между собой и вместе образуют живую оболочку Земли, которую можно рассматривать как самую большую экосистему. Оболочку Земли — ее сушу, воды и окружающее воздушное пространство, населенное живыми существами, — называют *биосферой*, т. е. сферой жизни.

Состав биосферы и ее основные свойства определяются взаимодействием ее биотического (живого) и абиотического (неживого) компонентов.

Биосфера — целостная, сложно организованная система, развивающаяся по своим внутренним законам и под действием внешних сил, в том числе космических.

Биосфера — продукт эволюции Земли. Живое вещество играет огромную роль в развитии нашей планеты. К такому выводу пришел русский ученый *В. И. Вернадский*, исследовав состав и эволюцию земной коры. Он доказал, что полученные данные не могут быть объяснены лишь геологическими причинами, без учета роли живого вещества в геохимической миграции атомов.

Биосферу можно сравнить с огромной машиной, работа которой зависит от одного решающего фактора — энергии: не будь ее, все немедленно остановилось бы. В биосфере роль основного источника энергии играет солнечное излучение.

Живые организмы не просто зависят от лучистой энергии Солнца, они выступают как гигантский аккумулятор (накопитель) и уникальный трансформатор (преобразователь) этой энергии. О том, как происходит это накопление и преобразование энергии, вы узнаете из последующих разделов учебника.

Биосфера характеризуется разнообразием природных условий, зависящих от широты и рельефа местности, от сезонных изменений климата. Но основная причина этого разнообразия — деятельность самих живых организмов.

Между организмами и окружающей их неживой природой происходит непрерывный обмен веществ, и поэтому разные участки суши и моря отличаются друг от друга по физическим и химическим показателям.

Ученые считают, что на Земле обитает около 2 млн (а реально — до 5 млн) видов живых организмов; каждый вид объединяет миллионы и миллиарды особей, определенным образом распределенных в пространстве. Каждый вид по-своему взаимодействует с окружающей средой. Деятельность живых организмов создает удивительное разнообразие окружающей нас природы. Это разнообразие служит гарантией сохранения жизни на Земле.

Жизненные среды. В пределах биосферы можно выделить четыре основные среды обитания. Это водная среда, наземно-воздушная среда, почва и среда, образуемая самими живыми организмами.

Вода служит средой обитания для многих организмов (рис. 66). Из воды же они получают все необходимые для жизни вещества: пищу, воду, газы. Поэтому, как бы ни были разнообразны водные организмы, все они должны быть приспособлены к главным особенностям жизни в водной среде. Эти особенности определяются физическими и химическими свойствами воды.

В толще воды постоянно парит множество мелких растений и животных, ведущих жизнь во взвешенном состоянии. Способность к парению обеспечивается не только физическими свойствами воды, обладающей выталкивающей силой, но и специальными приспособлениями самих организмов, например многочисленными выростами и придатками, значительно увеличивающими поверхность их тела и, следовательно, повышающими трение об окружающую жидкость. Плотность тела таких животных, как медузы, очень близка к плотности воды. Удерживаться в толще воды помогает им к тому же характерная форма тела, напоминающая парашют.

У активных пловцов (рыб, дельфинов, тюленей и др.) веретенообразная форма тела, а конечности в виде ласт. Их передвижение в водной среде облегчается, кроме того, благодаря особому строению внешних покровов, выделяющих специальную смазку — слизь, снижающую трение о воду.

Вода обладает очень высокой теплоемкостью, т. е. свойством накапливать и удерживать тепло. По этой причине в во-

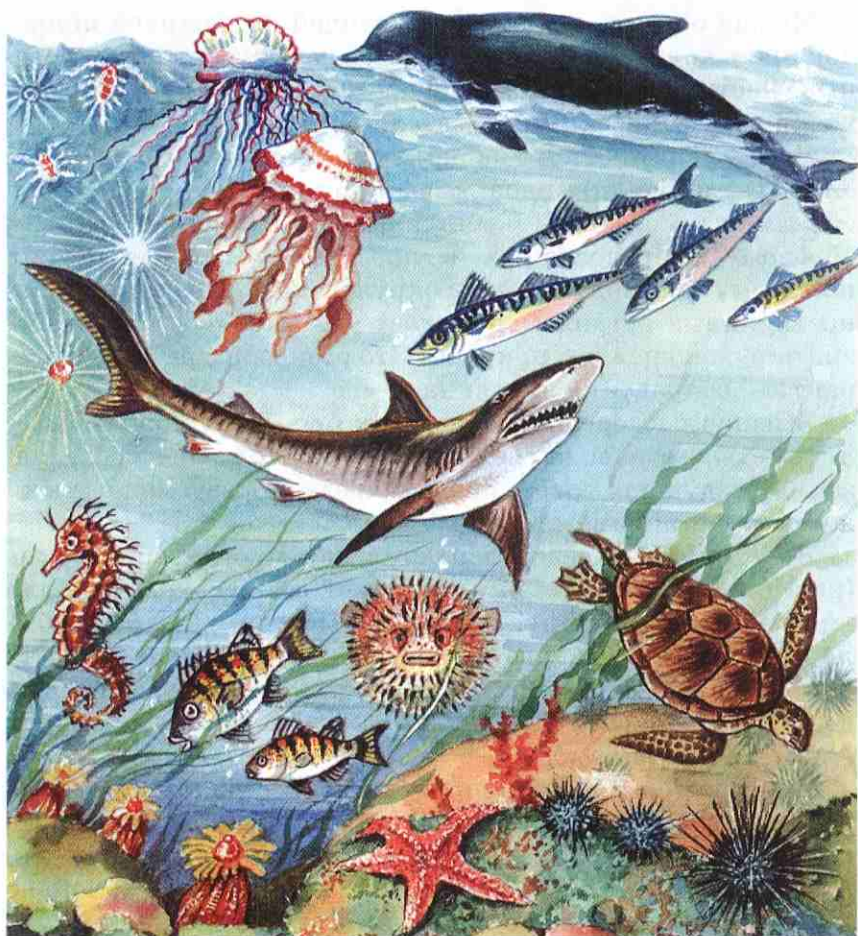


Рис. 66. Обитатели водной среды

де не бывает резких колебаний температуры, которые часто случаются на суше. Очень глубокие воды могут быть очень холодными, однако благодаря постоянству температуры у животных смог развиться ряд приспособлений, обеспечивающих жизнь даже в этих условиях.

Животные могут жить на огромных океанских глубинах. Растения же выживают только в верхнем слое воды, куда попадает лучистая энергия, необходимая для фотосинтеза. Этот слой называют *фотической зоной*. Так как поверхность воды отражает большую часть света, даже в наиболее прозрачных океанских водах толщина фотической зоны не

превышает 100 м. Животные больших глубин питаются либо живыми организмами, либо останками животных и растений, постоянно опускающимися вниз из верхнего слоя.

Подобно наземным организмам водные животные и растения дышат, им требуется кислород. Количество растворенного в воде кислорода снижается с увеличением температуры. Причем в морской воде кислород растворяется хуже, чем в пресной. По этой причине воды открытого моря тропического пояса бедны живыми организмами. И наоборот, полярные воды богаты планктоном — мелкими рачками, которыми кормятся рыбы и крупные китообразные.

Очень важен для жизни солевой состав воды. Особенное значение для организмов имеют ионы Ca^{2+} . Моллюскам и ракообразным кальций необходим для построения раковины или панциря. Концентрация солей в воде может сильно изменяться. Вода считается пресной, если в одном ее литре содержится менее 0,5 г растворенных солей. Морская вода отличается постоянством солености и содержит в среднем 35 г солей в одном литре.

Наземно-воздушная среда, освоенная в ходе эволюции позже водной, более сложна и разнообразна, и ее населяют более высокоорганизованные живые организмы.

Наиболее важным фактором жизни обитающих здесь организмов являются свойства и состав окружающих их воздушных масс. Плотность воздуха гораздо ниже плотности воды, поэтому у наземных организмов сильно развиты опорные ткани — внутренний и наружный скелет. Формы движения очень разнообразны: бегание, прыгание, ползание, полет и др. В воздухе летают птицы и некоторые виды насекомых. Потоки воздуха разносят семена растений, споры, микроорганизмы.

Воздушные массы постоянно находятся в движении. Температура воздуха может меняться очень быстро и на больших пространствах, поэтому живущие на суше организмы имеют многочисленные приспособления, позволяющие выдерживать резкие перепады температуры или избегать их. Наиболее замечательным из них является развитие теплокровности, возникшее именно в наземно-воздушной среде.

Важное значение для жизни растений и животных имеет химический состав воздуха (78% азота, 21% кислорода и 0,03% диоксида углерода). Диоксид углерода, например, является важнейшим сырьевым источником для фотосин-

теза. Азот воздуха необходим для синтеза белков и нуклеиновых кислот.

Количество водяных паров в воздухе (относительная влажность) определяет интенсивность процессов транспирации у растений и испарения с кожи некоторых животных. Организмы, живущие в условиях низкой влажности, имеют многочисленные приспособления, предотвращающие сильные потери воды. Так, например, у пустынных растений мощная корневая система, способная насасывать в растение воду с большой глубины. Кактусы запасают воду в тканях и экономно ее расходуют. У многих растений для уменьшения испарения листовые пластинки превращены в колючки. Многие пустынные животные в самый жаркий период впадают в спячку, которая может длиться несколько месяцев.

Почва — это верхний слой суши, преобразованной в результате жизнедеятельности живых существ. Это важный и очень сложный компонент биосферы, тесно связанный с другими ее частями. Жизнь почвы необычайно богата. Некоторые организмы проводят в почве всю жизнь, другие — часть жизни.

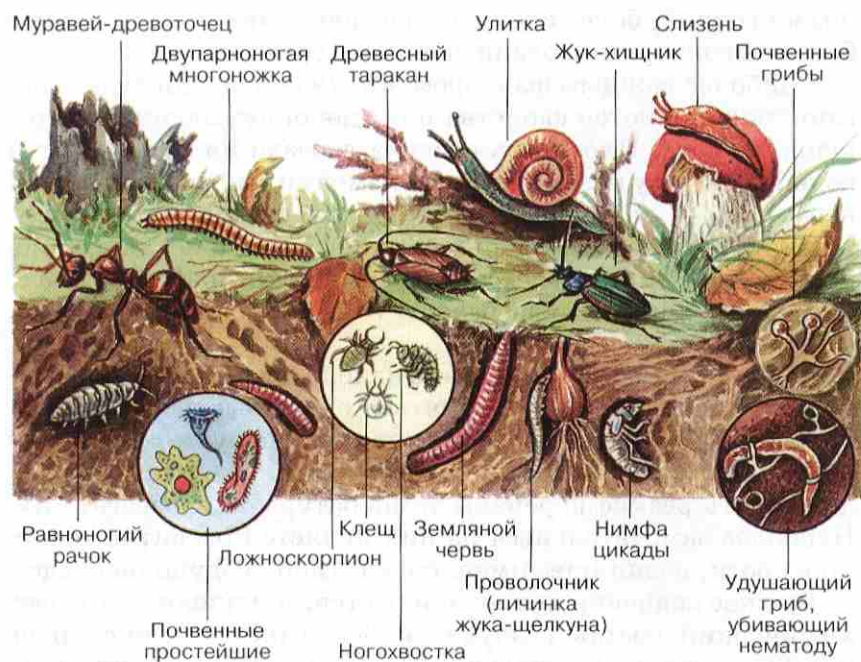


Рис. 67. Обитатели почвы

Между частицами почвы имеются многочисленные полости, которые могут быть заполнены водой или воздухом. Поэтому почву населяют как водные, так и воздуходышащие организмы (рис. 67). Огромную роль играет почва в жизни растений.

Условия жизни в почве во многом определяются климатическими факторами, важнейшим из которых является температура. Однако по мере погружения в почву колебания температуры становятся все менее заметными: быстро затухают суточные, а по мере увеличения глубины и сезонные изменения температур.

Даже на небольшой глубине в почве царит полная темнота. Кроме того, по мере погружения в почву падает содержание кислорода и растет содержание углекислого газа. Поэтому на значительной глубине могут обитать лишь анаэробные бактерии, в то время как в верхних слоях почвы помимо бактерий в обилии встречаются грибы, простейшие, круглые черви, членистоногие и даже относительно крупные животные, прокладывающие ходы и строящие убежища, например кроты, землеройки, слепыши.

Тела многих организмов служат жизненной средой для других организмов. Это относится не только к паразитизму, но и к некоторым другим формам взаимоотношений между организмами, о чем более подробно будет сказано в следующих разделах учебника. Очевидно, что условия жизни внутри другого организма характеризуются бóльшим постоянством по сравнению с условиями внешней среды. Поэтому организмы, находящие себе место в теле растений или животных, часто полностью утрачивают органы и системы, необходимые свободноживущим видам. У них не развиты органы чувств или органы движения, зато возникают приспособления (часто весьма изощренные) для удержания в теле хозяина и эффективного размножения.

**Биосфера. Водная среда. Наземно-воздушная среда.
Почва. Организмы как среда обитания.**

?

1. Назовите основные особенности жизни организмов в водной среде, в наземно-воздушной среде, в почве.
2. Какие приспособления выработались у организмов к обитанию в водной среде?

3. Как организмы избегают отрицательного влияния низких температур?
4. В чем состоят основные особенности организмов, использующих тела других организмов как среду обитания?

6.2. Средообразующая деятельность организмов



1. Могут ли организмы влиять на окружающую их среду?
2. Каковы формы этого влияния?
3. Какие среды возникли в результате деятельности организмов?

Живые организмы не только испытывают влияния со стороны окружающей их среды, но и сами активно влияют на среду своего обитания. В результате жизнедеятельности физические и химические свойства среды (газовый состав воздуха и воды, структура и свойства почвы и даже климат местности) могут заметно меняться.

Наиболее простым способом влияния жизни на среду является механическое воздействие. Строя норы, прокладывая ходы, животные сильно изменяют свойства грунта. Почва изменяется и под действием корней высших растений: она укрепляется, становясь менее подверженной разрушению потоками воды или ветром.

Живущие в толще воды мелкие рачки, личинки насекомых, моллюски, многие виды рыб имеют своеобразный тип питания, который называется *филтрацией*. Пропуская через себя воду, эти животные непрерывно отцеживают из нее пищевые частицы, содержащиеся в твердых взвешках. Эту деятельность можно сравнить с работой гигантского фильтра, ведущего постоянную очистку природных вод.

Механическое воздействие, однако, гораздо слабее по сравнению с воздействием организмов на физико-химические свойства среды. Наибольшая роль здесь принадлежит зеленым растениям, формирующим химический состав атмосферы. Фотосинтез — главный механизм поставки кислорода в атмосферу, тем самым он обеспечивает жизнь огромному количеству организмов, включая и человека.

Поглощая и испаряя воду, растения оказывают влияние на водный режим их местообитаний. Наличие растительности способствует постоянному увлажнению воздуха. Растительный покров смягчает суточные колебания температуры у поверхности земли (под пологом леса или травы), а также колебания влажности и порывы ветра, воздействует на структуру и химический состав почв. Все это создает определенный, комфортный микроклимат, оказывающий благотворное воздействие на обитающие здесь организмы.

Во многом благодаря деятельности живых существ контролируется образование таких газов, как азот, оксид углерода, аммиак. Живое вещество изменяет и физические свойства среды, ее термические, электрические и механические характеристики.

Организмы способны перемещать огромные массы различных веществ. По законам физики неживое вещество перемещается на Земле только сверху вниз. Это определяется силой земного притяжения. Сверху вниз движутся реки, ледники, лавины, осыпи. Живые организмы могут осуществлять обратные перемещения — снизу вверх. Стаи морских рыб мигрируют на нерест вверх по рекам, перемещая против течения большие количества живого органического вещества. Птицы, питающиеся морскими животными, вместе с экскрементами возвращают на сушу те химические элементы, которые реки выносят с суши в море. Растения поднимают снизу вверх из почвенного раствора в корни, стебли и листья огромные массы воды и растворенные в ней вещества.

Живые организмы оказываются, таким образом, важнейшим звеном в глобальном переносе химических элементов — постоянно происходящем в биосфере круговороте веществ.

Организмы оказывают решающее влияние на состав и плодородие почв. Благодаря их деятельности, в частности в результате переработки организмами мертвых корней, опавших листьев, иных омертвевших тканей, в почве образуется *гумус* — легкое пористое вещество бурого или коричневого цвета, содержащее основные элементы питания растений. В образовании гумуса участвует множество живых организмов: бактерий, грибов, простейших, клещей, многоножек, дождевых червей, насекомых и их личинок, пауков, моллюсков, кротов и др. В процессе жизнедеятель-

ности они преобразуют в гумус животные и растительные остатки, перемешивают его с минеральными частицами, формируя тем самым почвенную структуру.

Механическое воздействие.

Физико-химическое воздействие.

Перемещение вещества. Гумус. Фильтрация.

?

1. В чем проявляется воздействие живых организмов на среду обитания?
2. Какие виды воздействия живых организмов на среду вам известны?
3. Какова роль растений в жизни нашей планеты?

6.3. Круговорот веществ в биосфере



1. Какие вещества организмы используют в процессе жизнедеятельности?
2. Почему использование различных веществ растениями и животными не ведет к истощению их запасов?

Циркуляция химических элементов (веществ) в биосфере называется *биогеохимическими циклами*. Живые организмы играют в этих процессах решающую роль.

Необходимые для жизни элементы условно называют *биогенными* (дающими жизнь) элементами, или питательными веществами. Различают две группы питательных веществ.

К *макротрофным веществам* относятся элементы, которые составляют химическую основу тканей живых организмов. Это углерод, водород, кислород, азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера.

Микротрофные вещества включают в себя элементы и их соединения, также необходимые для существования

живых систем, но в исключительно малых количествах. Такие вещества часто называют *микроэлементами*. Это железо, марганец, медь, цинк, бор, натрий, молибден, хлор, ванадий и кобальт. Недостаток микроэлементов может оказывать сильное влияние на живые организмы (в частности, ограничивать рост растений), так же как и нехватка биогенных элементов.

Циркуляция биогенных элементов обычно сопровождается их химическими превращениями. Нитратный азот, например, может превращаться в белковый, затем переходить в мочевины, превращаться в аммиак и вновь синтезироваться в нитратную форму под влиянием микроорганизмов. В биохимическом цикле азота действуют различные механизмы, как биологические, так и химические. Схема циркуляции азота в биосфере представлена на рисунке 68.

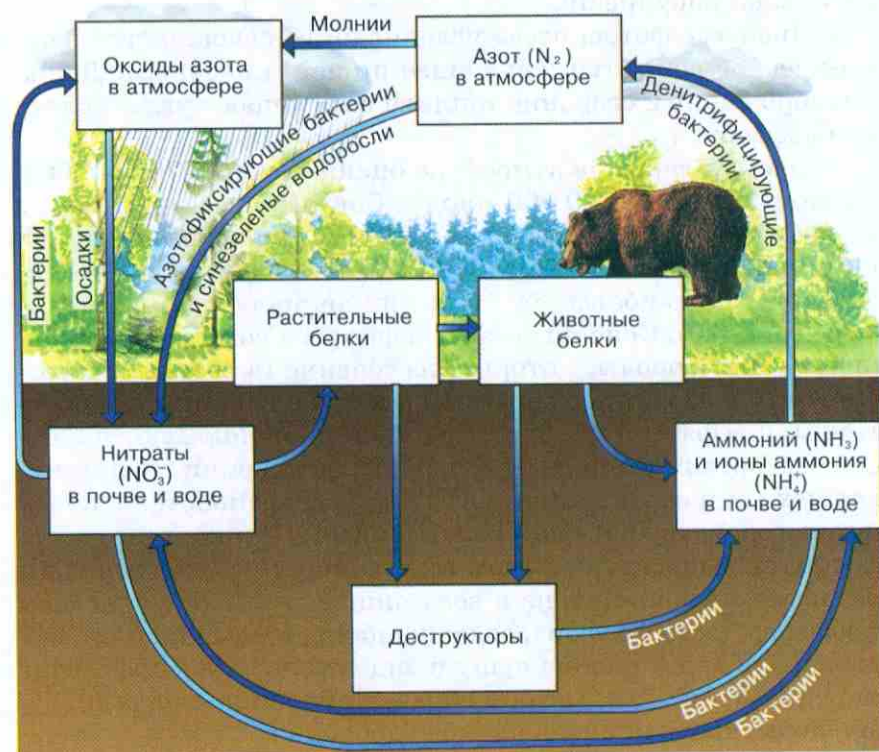


Рис. 68. Биогеохимический цикл азота

В отличие от энергии биогенные элементы благодаря участию в круговороте могут использоваться неоднократно. Запасы биогенных элементов непостоянны: некоторая их часть связана и входит в состав живой биомассы, что снижает количество, остающееся в среде экосистемы. И если бы растения и другие организмы в конечном счете не разлагались, запас питательных веществ исчерпался бы и жизнь на Земле прекратилась. Отсюда можно сделать вывод, что активность гетеротрофных организмов, в первую очередь редуцентов, — решающий фактор поддержания круговорота биогенных элементов и сохранения жизни.

Рассмотрим биогеохимический цикл углерода. Естественным источником углерода, используемого растениями для синтеза органического вещества, служит углекислота, входящая в состав атмосферы или находящаяся в растворенном состоянии в воде. Основные звенья круговорота углерода показаны на рисунке 69.

В процессе фотосинтеза углекислота превращается в органическое вещество, служащее пищей животным. Дыхание, брожение и сгорание топлива возвращают углекислоту в атмосферу.

Запасы углерода в атмосфере оцениваются в 700 млрд т, а в гидросфере — в 50 000 млрд т. Согласно расчетам, за год в результате фотосинтеза прирост растительной массы на суше и в воде равен соответственно 50 и 180 млрд т.

Одним из наиболее простых циклов является цикл фосфора (рис. 70). Основные запасы фосфора содержат различные горные породы, которые постепенно (в результате разрушения и эрозии) отдают свои фосфаты наземным экосистемам. Фосфаты потребляют растения и используют их для синтеза органических веществ. При разложении трупов животных микроорганизмами фосфаты возвращаются в почву и затем снова используются растениями. Помимо этого часть фосфатов выносится с током воды в море. Это обеспечивает развитие фитопланктона и всех пищевых цепей с участием фосфора. Часть фосфора, содержащаяся в морской воде, может вновь вернуться на сушу в виде гуано — экскрементов морских птиц. Там, где они образуют большие колонии, гуано добывают как очень ценное удобрение.

Некоторые организмы могут играть исключительно важную роль в круговороте фосфора. Моллюски, например,

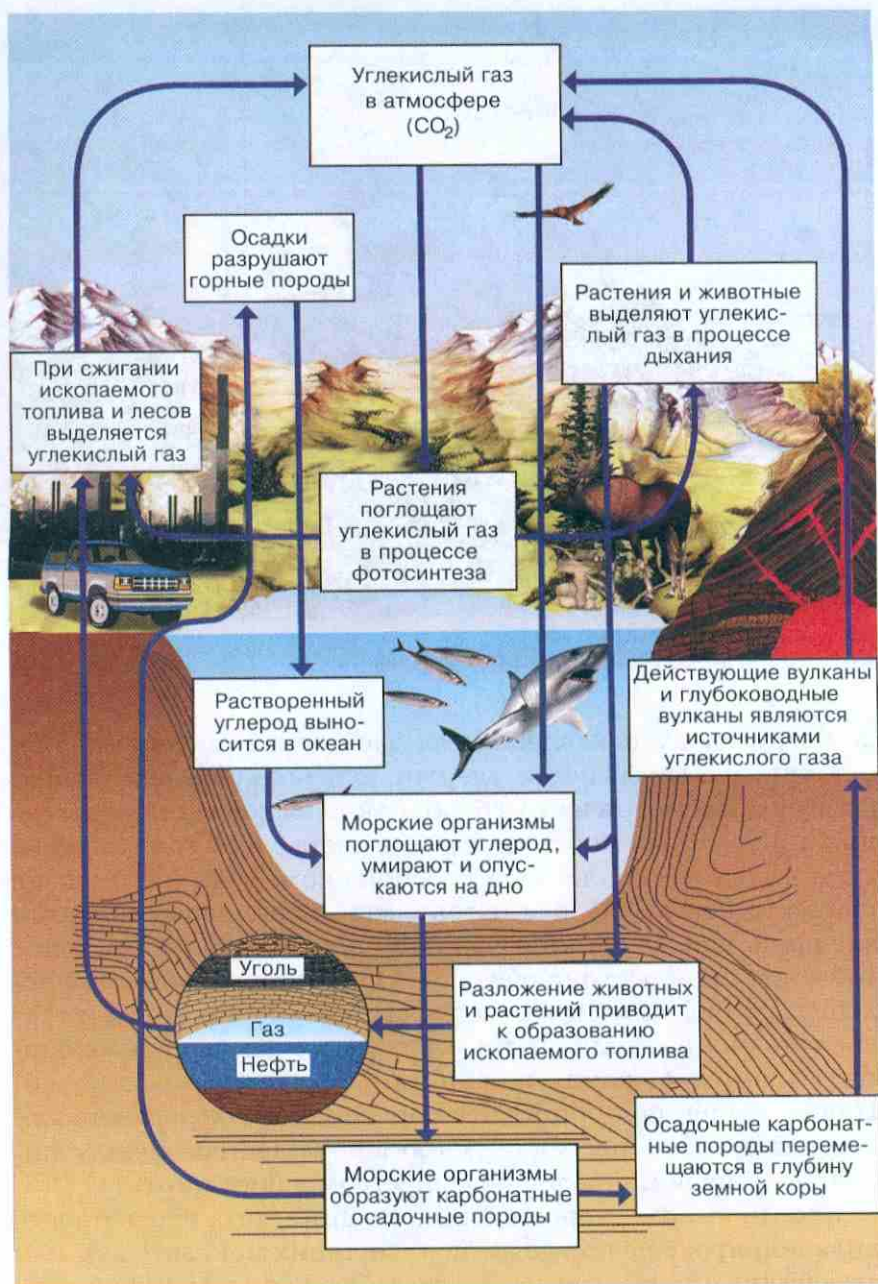


Рис. 69. Биогеохимический цикл углерода

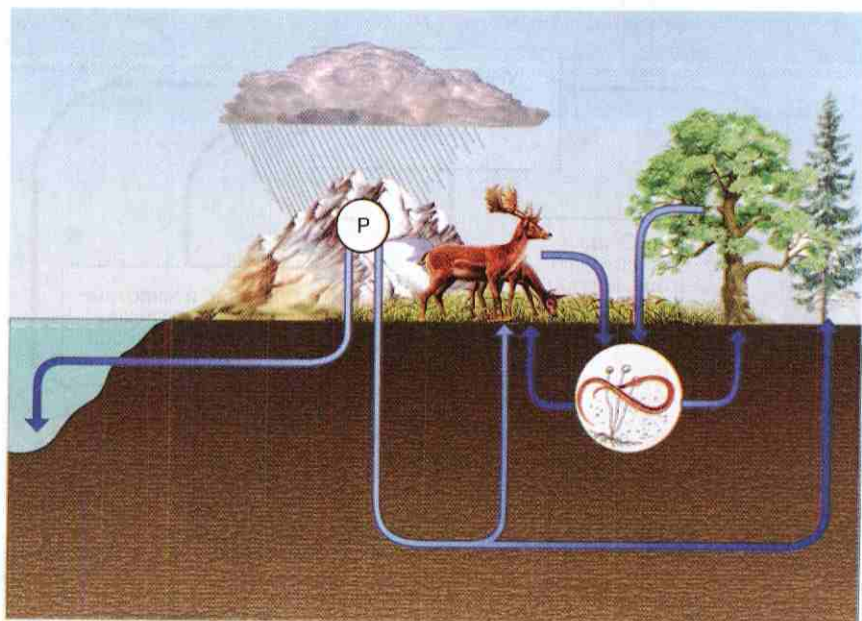


Рис. 70. Биогеохимический цикл фосфора

фильтруя воду и извлекая оттуда мелкие организмы, их остатки, захватывают и удерживают большое количество фосфора. Несмотря на то что роль моллюсков в пищевых цепях прибрежных морских сообществ невелика (они не образуют плотных скоплений с высокой биомассой, их пищевая ценность невысока), эти организмы имеют первостепенное значение как фактор, позволяющий сохранить плодородие той зоны моря, где они обитают. Популяции моллюсков подобны природным аккумуляторам, только вместо электроэнергии они накапливают и удерживают фосфор, необходимый для поддержания жизни в прибрежных зонах морей. Иначе говоря, популяция этих организмов более важна для экосистемы как «посредник» в обмене веществом между живой и неживой природой (сообществом и биотопом).

Этот пример — хорошая иллюстрация того, что ценность вида в природе не всегда зависит от таких показателей, как его обилие или сырьевые качества. Эта ценность может проявляться лишь косвенно и не всегда обнаруживается при поверхностном исследовании.

Биогеохимический цикл.
Биогенные (питательные) вещества.
Микротрофные и макротрофные вещества.
Микроэлементы.

?

1. Какие типы организмов играют основную роль в поддержании круговорота биогенных элементов?
2. Существует ли строгая связь между биомассой, или продуктивностью, вида и его значением в поддержании функционирования сообщества?

Краткое содержание главы

Оболочку Земли — ее сушу, воды и окружающее воздушное пространство, населенные живыми существами, называют биосферой. Все компоненты биосферы тесно взаимодействуют между собой, составляя целостную, сложно организованную систему.

Ученые считают, что в биосфере около 2 млн (возможно, до 5 млн) видов организмов, каждый из которых представлен миллионами и миллиардами особей, определенным образом распределенных в пространстве.

В пределах биосферы можно выделить четыре основные среды обитания: водная, наземно-воздушная, почва и среда, образуемая самими живыми организмами.

Живые организмы не только испытывают влияния со стороны окружающей их среды, но сами активно на нее влияют, изменяя ее физические и химические свойства.

Необходимые для жизни элементы условно называют биогенными элементами или питательными веществами. Циркуляция биогенных элементов сопровождается обычно их химическими превращениями. В отличие от энергии биогенные элементы могут использоваться неоднократно, участвуя в круговоротах веществ. Разлагаясь, растения и другие организмы возвращают в биосферу питательные вещества, пополняя их запас, поэтому жизнь на Земле не прекращается. Решающий фактор сохранения круговорота биогенных элементов и поддержания жизни — активность гетеротрофных организмов, в первую очередь редуцентов.

2. Эволюция органического мира

На Земле существует огромное множество видов животных и растений. Как возникло это разнообразие жизни? Неизменны ли биологические виды или они продолжают меняться? Каковы механизмы этих изменений? Ответы на эти вопросы дает научная теория эволюции, основы которой заложил *Ч. Дарвин* в XIX в. Эволюционная теория опирается на самые разные разделы биологии: зоологию, ботанику, физиологию, биохимию, экологию, генетику, палеонтологию и многие другие. Она призвана ответить на центральные вопросы биологии: каким закономерностям подчиняется развитие жизни на Земле, каковы главные направления эволюционного процесса?

ОСНОВЫ УЧЕНИЯ ОБ ЭВОЛЮЦИИ



Из этой главы вы узнаете:

- *каковы главные движущие силы эволюции;*
 - *какие существуют формы изменчивости организмов;*
 - *как полезные изменения закрепляются в популяции под действием естественного отбора;*
 - *как работают механизмы видообразования;*
 - *что такое макро- и микроэволюция, каковы основные закономерности этих процессов.*
-

7.1. Развитие эволюционного учения. Ч. Дарвин



1. Что вам известно о происхождении растений и животных?
2. Какие факторы повлияли на развитие растительного мира?

Живые существа постепенно изменяются. В этом утверждении — суть эволюционной идеи.

Еще философы древности отмечали, что среди живых существ можно отыскать представителей как очень простых, примитивных, так и очень сложных форм.

Традиционно это объясняли деятельностью Творца, создавшего «цепь бытия», т. е. все возможное разнообразие живого. При этом изучение организмов, их свойств, взаимоотношений между ними многие ученые рассматривали как способ лучшего понимания Бога. Даже *Карл Линней* (1708—1778) — шведский натуралист, основоположник систематики, твердо верил, что все свойства живого — результат Божественного замысла.

В первой половине XVIII в. были открыты многие новые виды животных и растений. К этому же времени были получены первые палеонтологические данные по вымершим видам. Изучение ископаемых остатков растений и животных обнаружило как бы поступательное движение от простого к сложному, от примитивных ко все более организованным формам жизни. Это явление требовало объяснения.

Одним из первых, кто попытался разработать теорию эволюции, был *Жан Батист Ламарк* (1744—1829). Согласно его идее, все биологические виды, включая человека, произошли от других видов. Таким образом, Ламарк выдвинул идею эволюции живой природы. Он понимал эволюцию как процесс прогрессивных изменений от одной формы к другой, от простого к сложному. Теория Ламарка основывалась на наследовании приобретенных свойств. Он ошибочно полагал, что определенные органы или системы органов у животных и растений по мере упражнения должны совершен-

ствоваться. И эти усовершенствования закрепляются в следующих поколениях. Ламарк ошибочно выводил факторы эволюции из будто бы присущего всему живому стремления к совершенствованию.

В начале XIX в. происходил интенсивный рост промышленности стран Западной Европы, который дал мощный импульс для бурного развития науки и техники. Обширные материалы заморских экспедиций обогащали представления о разнообразии живых существ, а описания систематических групп организмов приводили к мысли о возможности их родства. Об этом же свидетельствовало поразительное сходство зародышей хордовых, обнаруженное при изучении процессов индивидуального развития животных. Новые данные опровергали господствующие представления о факторах эволюции живой природы. Для их научного объяснения нужен был гениальный ум, способный обобщить огромный материал, связать разрозненные факты стройной системой рассуждений. Таким ученым оказался *Чарлз Дарвин*.

Чарлз Дарвин и основные положения его теории. Ч. Дарвин (1809—1882) — великий английский биолог, заложивший основы современной теории эволюции биологических видов.

С детства Дарвин увлекался сбором коллекций, химическими опытами, наблюдениями за животными. Студентом он изучал научную литературу, овладел методикой полевых исследований. Дарвин окончил университет в Кембридже в возрасте 22 лет. Сразу по окончании курса в качестве натуралиста он отправился в пятилетнее плавание к берегам Южной Америки на корабле «Бигль».

Дарвин много путешествовал, наблюдал, анализировал увиденное. Уже будучи профессором университета в Кембридже, после 30 лет кропотливой научной работы он написал и в 1859 г. опубликовал одну из наиболее замечательных и серьезных книг за всю историю человечества — «Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятствующих пород в борьбе за жизнь». Книга вызвала сенсацию. Изложенные в ней идеи сыграли выдающуюся роль в развитии науки.

Дарвин не сомневался ни в существовании Творца, ни в его ответственности за все происходящее на Земле. Он прос-

то верил, что Бог выражает себя через естественнонаучные законы, которые могут быть изучены и познаны.

Посетив несколько раз сравнительно молодые вулканические острова Галапагосского архипелага, заселенные живыми организмами с Южноамериканского континента, Дарвин столкнулся с тем, что островные растения и животные резко отличаются от близких видов на континенте. Здесь Дарвин обнаружил гигантских черепах и странный вид игуаны. На материке игуана — это сухопутная ящерица, живущая в засушливых районах. Здесь же она кормилась в море, питаясь водорослями. Кроме того, он нашел ископаемые остатки гигантских ленивца и броненосца, существенно превосходивших размерами своих родственников, все еще населяющих Центральную и Южную Америку.

Дарвин установил, что близкие виды отчетливо изменяются от острова к острову по облику, размерам тела, образу жизни. Он увидел впечатляющую картину: пестрая *изменчивость* жизненных форм на фоне разнообразных условий их обитания, различия в географическом распределении растений и животных, встреченных им во время путешествия. Дарвин предположил, что на острова животные попали с материка и здесь изменились.

В Австралии его заинтересовали сумчатые и яйцекладущие, которые в других местах земного шара вымерли. Эти примитивные животные оказались в Австралии как бы в изоляции (ведь Австралия как материк обособилась еще до возникновения высших млекопитающих) и развивались независимо от эволюции млекопитающих, шедшей на других материках своим чередом.

Все увиденное навело Дарвина на мысль, что изменения организмов от популяции к популяции должны соответствовать изменениям условий их жизни.

Дарвин был хорошо знаком с изменчивостью домашних животных. Так, он замечал, что различия между разными породами одного и того же вида одомашненных животных порой даже более значительны, чем между разными видами диких животных. Например, он знал, что разные формы голубей (как, впрочем, и других животных, например собак) при разведении могут отбираться человеком по некоторым определенным признакам. Например, селекционер заинтересован в сохранении и увеличении числа особей с длинны-

ми крыльями. Он отбирает таких птиц и поддерживает условия, способствующие их выживанию и размножению. Это отбор человека — *искусственный отбор*.

Однако в дикой природе все иначе: свойства, полезные с точки зрения человека, здесь могут оказаться бесполезными и даже вредными в борьбе вида за жизнь.

В природе действует другой вид отбора — *естественный*. Его требования сводятся лишь к одному — способности выжить. Так, например, в условиях холодного климата те свойства организма, которые способствуют его лучшей теплоизоляции, являются для него полезными, или приспособительными (*адаптивными*), так как увеличивают вероятность его выживания. В результате естественного отбора именно адаптивные свойства закрепляются в популяции, отражаясь в облике и образе жизни входящих в нее организмов. Таким образом, требования внешней среды — основной фактор, определяющий различия между популяциями близких видов.

Ключевым моментом развития теории Дарвина стало его знакомство с работами *Томаса Роберта Мальтуса* (1766—1834), книгу которого Дарвин прочитал через два года после возвращения из экспедиции. Мальтус доказывал, что популяции растений и животных стремятся размножиться в геометрической прогрессии и теоретически любой организм может заполнить Землю очень быстро. Несложный подсчет, например, приводит к выводу, что одна бактерия за трое суток способна дать потомство, общая масса которого достигает тысячи тонн. Фактически этого никогда не случается, и численность организмов остается более или менее постоянной из-за смертности, происходящей в силу того, что жизненные ресурсы ограничены и достаются лишь немногим — тем, кто может одержать победу в борьбе за жизнь.

Итак, каждый организм способен продуцировать больше потомков, чем их может выжить, и только ограниченное количество из них выживает и оставляет свое потомство. Сопоставляя это наблюдение с предшествующими, сделанными во время путешествия на корабле «Бигль», и со своим опытом изучения одомашненных животных, Дарвин сделал ключевой вывод: особи с полезными, или *передовыми*, физическими, поведенческими или иными свойствами имеют более высокие шансы выжить по сравнению с остальными. Наличие полезных свойств позволяет организмам оказы-

ваться победителями в *борьбе за жизнь*, или *борьбе за существование*. Выживая, они имеют преимущество в передаче этих передовых свойств своему потомству. Следовательно, такие свойства будут накапливаться в популяции, и она в целом будет постепенно изменяться. Дарвин назвал этот процесс *естественным отбором*, или *выживанием наиболее приспособленных*. Естественный отбор — движущая сила эволюции; чем лучше приспособлен организм к условиям жизни, тем сильнее его оружие в борьбе за жизнь, и это оружие будет усиливать его шансы выжить и оставить потомство.

Заслуга Дарвина состоит в том, что он раскрыл главные движущие силы эволюции. Он объяснил изменение организмов действием законов природы, без вмешательства сверхъестественных сил. В основу своего объяснения эволюции Ч. Дарвин положил три главных фактора: изменчивость организмов, борьбу за существование и естественный отбор. Теорию Дарвина можно сформулировать в виде довольно простых положений:

1. Организмы изменчивы. Невозможно найти двух полностью тождественных кроликов, волков, ящериц или иных принадлежащих к одному виду животных или растений.

2. Различия между организмами, хотя бы частично, передаются по наследству.

3. Теоретически при благоприятных условиях любые организмы могут размножиться настолько, что в состоянии заполнить Землю, однако такого не случается, так как многие особи погибают, не успев произвести потомство.

4. Те организмы, которые располагают полезными свойствами, имеют бóльшую вероятность выжить по сравнению с другими. Выжившие передают эти свойства своему потомству. Следовательно, эти свойства закрепляются в череде последующих поколений.

Хотя многие религиозные лидеры критиковали дарвиновскую теорию, его идеи были столь убедительно обоснованы, что большинство ученых принимает их и по сей день. Концепция эволюции путем естественного отбора приводит в гармонию все жизненные проявления на Земле. В нашем столетии эволюционное учение Ч. Дарвина было развито и конкретизировано благодаря созданию хромосомной теории наследственности, развитию молекулярно-генетических ис-

следований. Включение достижений этих и других биологических дисциплин в дарвиновскую концепцию привело к созданию современной эволюционной теории.

*Изменчивость. Естественный отбор.
Искусственный отбор. Передовые свойства.
Борьба за существование.*

?

1. Как Ж. Б. Ламарк объяснял многообразие видов и приспособленность организмов к конкретным условиям среды?
2. В чем состоят основные положения учения Ч. Дарвина?
3. На каких фактах Дарвин основывал доказательства своей теории?
4. Какие факты позволяют говорить о борьбе за существование? Как проявляется эта борьба в природе?

7.2. Изменчивость организмов



1. Что такое ген? Что называют генотипом и фенотипом организмов?
 2. Что такое изменчивость? Какие виды изменчивости вам известны?
-

Изменчивостью называют свойство организмов приобретать новые признаки, отличающие их от других организмов того же вида.

Изменчивость затрагивает все свойства организмов: черты строения, окраску, физиологию, особенности поведения и пр. В потомстве одной пары животных или растений, выращенных из семян одного плода, невозможно найти двух полностью тождественных особей. Природа изменчивости различна. Дарвин различал две основные формы изменчивости — ненаследственную и наследственную.

Ненаследственная изменчивость. Разные условия жизни формируют некоторые различия между организмами одно-

го вида. Скажем, обильное питание может привести к ускоренному росту организма, наступлению более ранней зрелости, достижению им более крупных размеров, и наоборот. Поддерживая определенную температуру воды в аквариуме, можно изменять пропорции между различными частями тела рыб. Разные выводки мальков одного вида рыб развиваются в различных участках водоема, отсюда — различия в размерах их тела, пропорциях, ряде других свойств.

Известно, что сорта культурных растений при отсутствии специальных условий, в которых они были выведены человеком, теряют свои качества. Например, белокочанная капуста при возделывании в жарких странах не образует кочана. Породы лошадей, завезенные в горы или другие места, где пища недостаточно питательна, становятся низкорослыми. Все эти изменения не наследственны, они не затрагивают генетических свойств организмов и не передаются по наследству.

Изменчивость, возникающая в ответ на изменения условий жизни, называется *ненаследственной*. Благодаря ненаследственной изменчивости особи как бы приспосабливаются к меняющимся условиям жизни.

Наследственная (генетическая) изменчивость. Основой эволюционного процесса является *наследственная (генетическая) изменчивость*, т. е. такая, при которой изменения свойств организмов передаются от родителей к потомкам по наследству. Наследственная изменчивость присуща всем организмам. Она определяется не столько условиями среды, сколько особенностями самого организма. Ее существование поддерживает естественное неравенство, разнообразие организмов. Одни из них могут лучше противостоять хищникам, другие менее восприимчивы к болезням, третьи лучше защищены от холода, четвертые обладают благоприятной комбинацией всех указанных и других свойств.

Причины наследственной изменчивости во времена Дарвина были мало исследованы. В настоящее время известно, что носителями наследственной изменчивости являются *гены*. Наследственная изменчивость постоянно поддерживается появлением *мутаций* и *генетической рекомбинацией* — непрерывным процессом перетасовки генов во время образования зигот.

Вы уже знаете, что генетики используют понятия генотипа и фенотипа. *Генотип* — это набор генов организма, за-

дающий особенности его развития. *Фенотип* — это комплекс свойств и признаков организма, т. е. результат реализации его генетической программы в конкретных условиях жизни. Фенотип — более богатое по содержанию понятие, чем генотип. Изменчивость фенотипов — результат совместного действия факторов, определяющих наследственную и ненаследственную изменчивость. Изменчивость генотипов — результат мутаций и рекомбинаций. Понятия фенотипа и генотипа применимы для характеристики отдельного организма.

Генофонд популяций. Показателем генетического состава всей популяции является генофонд. *Генофонд* — сумма всех генотипов, представленных в популяции. Так как подсчитать все имеющиеся в популяции гены и все аллели практически невозможно, о составе генофонда судят по соотношению частот аллелей отдельных генов. Частота аллели выражается ее долей в общем числе организмов, располагающих соответствующим геном.

Генофонд популяции постоянно меняется под влиянием разных факторов. Во-первых, это связано с изменчивостью генотипов. Во-вторых, генофонд может изменяться под действием отбора; такие изменения генофонда имеют направленный характер.

Ключом дарвиновского объяснения движущих сил эволюции является идея, что некоторые особи вида располагают свойствами, которые увеличивают их шансы выжить и оставить потомство. Если это так, то генетические свойства таких организмов («полезные гены, или аллели») должны закрепляться в популяции (вместе с потомками организмов, которые ими располагают), меняя состав ее генофонда. В суровых климатических условиях, например, в популяциях должна возрастать доля генотипов, содержащих аллели, способствующие повышению теплоизоляции организмов. Такие изменения делают популяцию более приспособленной к конкретным условиям жизни. В иных случаях выживание организмов может определяться генами, кодирующими окраску животного (когда важное значение для выживания особей приобретает фактор маскировки), или синтез определенных видов ферментов, или характер поведения и т. д. Иными словами, генофонд популяции с течением времени должен меняться в результате естественного отбора. Следо-

вательно, изучение состава генофонда позволяет сделать вывод о происходящих в популяциях эволюционных изменениях.

Современные исследователи могут наблюдать и измерять изменения генофонда популяций с помощью специальных биохимических методов — например, анализируя последовательности аминокислот в белках или последовательности азотных оснований в ДНК. Для этого изучают состав белков, первичные структуры которых определяются нуклеотидными последовательностями кодирующих их генов.

У разных групп организмов изменчивость генофонда различна, но в целом она достаточно высока (рис. 71). Причем, как установил русский ученый С. С. Четвериков в 1926 г., подавляющее большинство возникающих мутаций рецессивно и не проявляется фенотипически.

Изменчивость генофонда можно проиллюстрировать примером с группами крови у человека. Их разнообразие определяется действием разных генов. Установлено, что кроме четырех основных групп крови у человека существует еще по крайней мере 30 различных групп, также генетически закрепленных. Помимо этого выявлено более 45 генов, которые кодируют белки в клетках человеческой крови и плазмы.

В популяциях человека, населяющих разные страны и континенты, соотношение носителей разных групп крови меняется. Выявлена, например, следующая закономер-

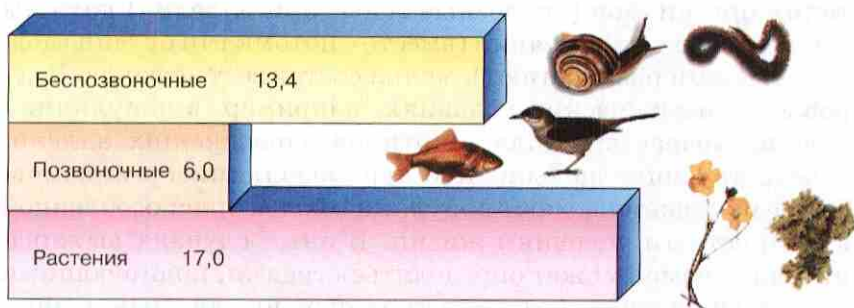


Рис. 71. Генетическая изменчивость в популяциях различных групп организмов. Цифры обозначают процент гетерозигот. Различные сочетания аллелей, возникающие при половом размножении, поставляют материал для естественного отбора

ность: состав белков крови зависит от географического положения популяции. Американские индейцы, например, имеют в основном нулевую группу. Группа крови В отсутствовала в Америке и в Австралии до появления там выходцев из Европы. Частота группы крови В возрастает от Европы к Центральной Азии.

Учитывая, что люди с разными группами крови обладают разной восприимчивостью к некоторым болезням, можно предположить, что различия в генетическом составе разных популяций человека имеют адаптивное значение, т. е. контролируются естественным отбором.

Ненаследственная изменчивость. Наследственная изменчивость. Генофонд. Генотип. Фенотип.

?

1. Что такое изменчивость организмов?
2. Какие виды изменчивости вам известны?
3. Что такое наследственная изменчивость популяции? Почему генофонд популяции изменяется во времени?
4. Какие факты могут служить доказательством приспособительного (адаптивного) характера изменений генофонда?

7.3. Генетическое равновесие в популяциях и его нарушения



1. Какие гены называют рецессивными, а какие — доминантными?
2. Что такое гомо- и гетерозиготы? Как проявляются рецессивные и доминантные аллели?

Можно ли с полной уверенностью утверждать, что направленные изменения генофонда свидетельствуют о происходящем отборе и связанных с ним эволюционных изменениях в популяциях? Для ответа на этот вопрос необходимо

знать, какими факторами определяются изменения генофонда и как они происходят в различных условиях.

Факторы генетической изменчивости популяций были загадкой для Дарвина и его современников. Долгое время ученые не знали механизмов, с помощью которых редкие характеристики могут сохраняться в популяции и передаваться от одной генерации к другой. Не было известно, почему доминантные аллели не вытесняют из популяции рецессивные, особенно редкие. Почему в некоторых странах, например, много людей с голубыми глазами (т. е. особей, гомозиготных по рецессивной аллели) и их количество не уменьшается со временем. На эти и другие вопросы долгое время не могла ответить и генетика, которая первоначально изучала лишь проявления действий индивидуальных генов.

Провал между генетикой и эволюционными исследованиями удалось преодолеть лишь к 20-м гг. XX века, когда появилась *популяционная генетика* и стала формироваться теория, объясняющая, как аллели ведут себя в популяции, в чем состоят механизмы, изменяющие соотношение аллелей в пределах популяции, и как протекают в популяции эволюционные изменения.

Генетическое равновесие. Очевидно, что для выявления закономерностей, которым подчиняются изменения генофонда, нужно знать, что происходит с частотами аллелей в различных условиях. Для начала необходимо ответить на вопрос, как будут изменяться эти частоты в идеальных условиях: когда отбор не действует, популяция изолирована, а подбор особей при спаривании происходит случайно. Сохраняется ли генофонд таких популяций постоянным или он изменяется?

Ранние генетики интуитивно предполагали, что с течением времени частоты доминантных фенотипов (и соответственно аллелей) должны возрасть. Однако впоследствии с помощью математических методов было установлено, что в популяциях, живущих изолированно, в условиях слабого давления естественного отбора устанавливается *генетическое равновесие*, т. е. наблюдается постоянство частот аллелей различных генов.

Причины нарушения генетического равновесия. В некоторых случаях, однако, генетическое равновесие может на-

рушаться. Причиной таких нарушений может быть вовсе не отбор, а иные механизмы. Рассмотрим некоторые из них, имеющие наибольшее распространение.

Первая причина нарушения генетического равновесия — неслучайный подбор партнеров при спаривании у некоторых видов животных. Особи с определенными признаками подбирают пару с такими же признаками, как это происходит, например, у диких гусей, которые в период размножения ищут себе пару со сходной окраской. Ясно, что в зависимости от соотношения численности особей, имеющих различную окраску, может меняться и соотношение аллелей генов, контролирующих цвет перьев.

Другая причина связана с потерей некоторых генов. Такая потеря может происходить случайно, например из-за гибели носителей редких генов. Чем меньше численность популяции, тем большее влияние оказывают случайные факторы на ее генофонд.

Если мысленно представить, что популяция разделяется на две неравные части некими неожиданно возникшими естественными или искусственными барьерами (например, на реке построена плотина, разделившая обитавшую там популяцию плотвы на две части), то генофонд популяции, берущей начало от малого количества особей, может опять же в силу случайных причин отличаться от прежнего по составу. Он будет нести в себе только те генотипы, которые случайно подобрались среди малого числа основателей новой популяции. Редкие в старой популяции аллели могут стать обычными в новой, и наоборот.

Наконец, когда лишь малая доля особей популяции остается в живых после перенесенной катастрофы (наводнения, засухи или иных неблагоприятных климатических явлений), это также может приводить к заметным изменениям состава генофонда популяции, когда ее численность восстановится. Набор генов особей, оставшихся в живых, может несколько отличаться от того, который существовал ранее. Пример дают некоторые насекомые. Только малое их количество выживает после зимы. Эта малая доля дает начало новой, летней, популяции, генофонд которой может оказаться отличным от генофонда популяции, существовавшей год назад.

Как видно, причиной рассмотренных изменений генофонда или нарушения его равновесия может быть не только отбор, но и другие факторы. При этом во всех рассмотренных случаях изменения генофонда носят случайный, *ненаправленный* характер. Поэтому их нельзя считать эволюционными.

Нарушения равновесия, вызываемые естественным отбором. Естественный отбор приводит к *направленным* изменениям генофонда, например к возрастанию частот одних генов и к снижению других. Вследствие естественного отбора в популяциях закрепляются полезные гены, т. е. благоприятствующие выживанию в данных условиях среды. Доля таких генов возрастает, и общий состав генофонда меняется. Изменения генофонда под действием естественного отбора должны приводить и к изменениям внешнего строения организмов, особенностей их поведения и образа жизни, а в конечном итоге — к лучшей приспособленности популяции к данным условиям внешней среды.

Если, скажем, популяция одного вида бабочек заняла участок с необычным для данного вида составом и цветом растительности, то в ее генофонде постепенно будут происходить изменения в соотношении генов, контролирующих светлую и темную окраску гусениц. Будут происходить морфологические изменения особей, которые могут сопровождаться изменениями в их поведении и образе жизни. Популяция, осваивающая необычный для вида участок среды обитания, будет претерпевать эволюционные изменения.

Эволюционные изменения популяций всегда сопровождаются *направленными* изменениями генофонда, происходящими под действием естественного отбора.

Популяционная генетика. Генетическое равновесие.

?

1. Какие изменения генофонда позволяют делать вывод о происходящих в популяции эволюционных изменениях?
2. Что такое генетическое равновесие? В каких условиях оно возможно?
3. Какие факторы являются причиной нарушения генетического равновесия в условиях, когда естественный отбор не действует?

7.4. Борьба за существование и естественный отбор



1. В чем сущность законов Менделя?
2. Назовите основные положения эволюционного учения Дарвина.

В свете того, что известно сегодня о генах, хромосомах и механизмах наследственности, дарвиновские положения об эволюции можно переписать следующим образом:

- 1) изменчивость фенотипов влияет на выживание и успешность размножения организмов;
- 2) изменчивость фенотипов наследуема, по крайней мере частично;
- 3) те признаки, благодаря которым успешность размножения организмов возрастает, с течением времени закрепляются в генофонде популяции.

Почему эволюционные изменения популяций сопровождаются направленным изменением генофонда? Нельзя ли представить себе ситуацию, когда появляющиеся в популяции новые, более приспособленные генотипы не вытесняют старые, а мирно сосуществуют вместе с ними?

Для ответа на этот вопрос вспомним, что всем живым существам присуща способность производить большее количество потомков, чем их может выжить в реальных условиях. Самка аскариды, например, откладывает 200 тысяч яиц в сутки, серая крыса приносит 5 пометов в год (в среднем по 8 крысят, достигающих половой зрелости к трехмесячному возрасту), а в одном плоде кукушкиных слезок не менее 186 000 семян!

Несоответствие между численностью появляющихся в популяции особей и имеющимися в наличии жизненными ресурсами неизбежно приводит к борьбе за существование. Под выражением «борьба за существование» понимают не прямую схватку, а сложные и многообразные отношения организмов внутри одного вида, между разными видами и с неорганической природой. Наградой в такой борьбе являются жизнь и возможность ее продолжения в череде последующих поколений. Победителями же оказываются обладатели таких свойств, которые делают их более приспособленными к данным условиям существования.

Формы борьбы за существование. Дарвин различал три формы борьбы за существование: внутривидовую, межвидовую и борьбу с неблагоприятными условиями неорганической природы. Наиболее напряженная из них — *внутривидовая борьба*. Яркий пример внутривидовой борьбы — состязание между одновозрастными деревьями хвойного леса. Самые высокие деревья своими широко раскинутыми кронами перехватывают основную массу солнечных лучей, а их мощная корневая система поглощает из почвы растворенные в воде минеральные вещества в ущерб более слабым соседям. Внутривидовая борьба особенно обостряется при повышении плотности популяции — например, при обилии птенцов у некоторых видов птиц (многие виды чаек, буревестники): более сильные выталкивают из гнезд слабых, обрекая их на гибель от хищников или голода.

Межвидовая борьба наблюдается между популяциями разных видов. Она может проявляться в форме соревнования за одни и те же виды природных ресурсов или в форме одностороннего использования одного вида другим. Пример соревнования за сходные виды ресурсов дают взаимоотношения серой и черной крыс, борющихся за место в поселениях человека. Серая крыса, более сильная и агрессивная, со временем вытеснила черную, которая в настоящее время встречается лишь в лесных районах или в пустынях. В Австралии обыкновенная пчела, которую привезли из Европы, вытеснила маленькую туземную, не имеющую жала.

Пример борьбы другого рода — взаимоотношения между хищником и жертвой: птицами и насекомыми, рыбами и мелкими рачками, львами и антилопами и т. д. Лишь в этих случаях борьба за существование выражается в непосредственной схватке: хищники грызутся из-за добычи или хищник сражается с жертвой. Наглядным результатом таких отношений являются согласованные эволюционные изменения как хищника, так и жертвы: у хищника появляются изощренные средства нападения — клыки, когти, быстрые движения, подстерегающее поведение; у жертв — не менее изощренные формы защиты: разнообразные шипы и панцири, маскировочная окраска, выставление охраны и другие виды приспособительного поведения.

Третья форма борьбы за существование — *борьба с неблагоприятными физическими условиями* — также играет большую роль в эволюционных изменениях организмов.

Особенности строения некоторых растений, например стла-ников, растений-подушек, ясно указывают на жизнь в суро-вых условиях севера или высокогорий. Про растения в пус-тыне говорят, что они «борются с засухой».

Абиотические факторы оказывают значительное влияние на эволюцию организмов не только сами по себе: их влияние может усиливать или ослаблять внутри- и межвидовые вза-имоотношения. При недостатке территории, тепла или све-та внутривидовая борьба может обостряться или, наоборот, ослабевать при избытке необходимых для жизни ресурсов. В теплые годы при обильном развитии зоопланктона окунь активно поедает рачков, парящих в толще воды; в холодные, малопродуктивные годы нехватка пищи заставляет рыб пе-реходить на питание собственной молодью.

Естественный отбор. Отбор в природе происходит в ходе борьбы за существование. Эти понятия неразрывно связаны.

С другой стороны, естественный отбор происходит лишь тогда, когда особи в популяции различаются эффективно-стью размножения, т. е. способностью выжить и оставить после себя потомство. Таким образом, естественный отбор также тесно связан и с изменчивостью организмов.

Естественный отбор влияет на состав популяции: «уби-рая» из нее менее приспособленные генотипы и индивиду-умы, он делает ее более адаптированной к условиям внеш-ней среды. Индивидуумы, обладающие передовыми свойст-вами, начинают оказывать все большее и большее влияние на генетический состав следующих поколений.

Так, чисто белый цвет меха арктического зайца на фоне снега делает его почти незаметным для лисы, песца или дру-гого хищника (рис. 72). Подобная окраска помогает зверьку выжить и размножиться. Аллели генов, контролирующих цвет меха и определяющих его белый цвет, повышают при-способленность популяции в целом, поэтому их доля в гено-фонде должна возрастать.

Естественный отбор можно наблюдать в природе, но мож-но получить и его экспериментальные доказательства.

На опушке леса разложили на досках насекомых 200 ви-дов. Птицы склевали лишь тех, которые не имели предосте-регающей окраски.

А вот опыты по искусственной мимикрии (от греч. *mimikos* — подражательный). Птицы охотно поедали личи-нок жука мучного хрущака, окрашенных безвкусной кра-

Рис. 72.
Арктический
заяц



ской кармином. Часть таких личинок покрыли смесью краски с хинином или другим неприятным на вкус веществом. Натолкнувшись на этих личинок, птицы переставали клевать всех окрашенных хрущаков.

Действие естественного отбора приводит к тому, что фенотипы начинают оказывать влияние на генофонд популяций. В подтверждение рассмотрим пример. В природе существуют виды плодовых мушек, которые находят излюбленный корм либо на вершинах деревьев, либо на поверхности почвы. Может ли естественный отбор отобрать лишь таких насекомых, которые летали бы либо вниз, либо вверх? Ученые поставили интересный опыт, который демонстрирует влияние отбора на генетический состав популяций и позволяет проверить предположение о генетическом контроле поведенческих инстинктов.

Плодовых мушек помещали в лабиринт, состоящий из множества камер (рис. 73), в каждой из которых было устроено по два выхода — вверх и вниз. Пройдя одну камеру, насекомое оказывалось в следующей, где также надо было «решить», в каком направлении двигаться. Каждая мушка могла 14 раз «принять решение» относительно движения: вверх или вниз. Движение в обратном направлении было заблокировано специальными клапанами. Мушки, постоянно двигавшиеся вверх, оказывались в конце концов в верхнем выходе из лабиринта. Их тщательно отбирали для последующего содержания. Мушки, двигавшиеся вниз, оказывались

в нижнем выходе из лабиринта, их также отбирали. Насекомых, оставшихся в камерах лабиринта, т. е. таких, у которых не было определенного стереотипа движения, собирали и удаляли из опыта. «Верхних» и «нижних» мушек содержали и разводили отдельно друг от друга. Постепенно удалось создать популяции, все особи которых (почти без исключения) имели определенный стереотип поведения (движение вверх или вниз). Этот результат не был связан с появлением каких-либо «новых» генов, все произошло только благодаря естественному отбору, который воздействовал на уже имеющуюся в популяции изменчивость фенотипов (в данном случае — изменчивость характера поведения мушек).

Что же будет, если снять пресс естественного отбора? Для ответа на этот вопрос экспериментаторы позволили мушкам «верхнего» и «нижнего» ярусов размножаться вместе. Вскоре в популяции восстановился исходный баланс аллелей: часть особей двигалась вверх, часть вниз, остальные не демонстрировали никаких предпочтений в отношении направления движения.

Этот опыт показывает, что возможности для эволюционных изменений в популяции всегда присутствуют. До поры

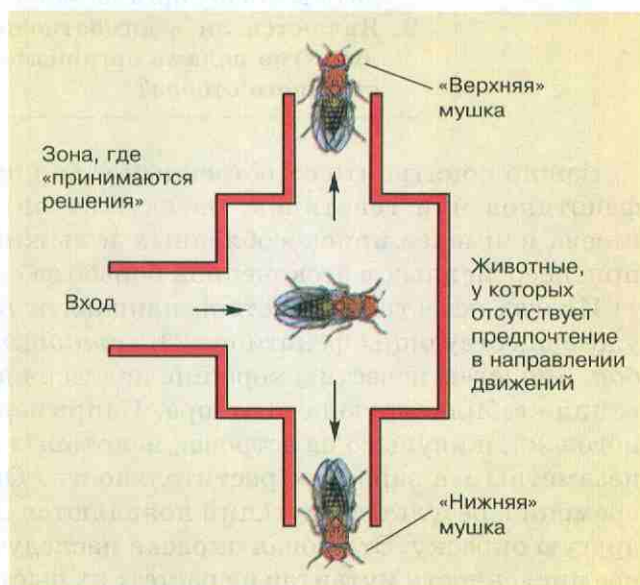


Рис. 73.
Схема опыта
с плодовыми
мушками

они проявляются лишь в изменчивости организмов. Как только начинает действовать отбор, популяция отвечает на это адаптивными изменениями.

*Борьба за существование.
Естественный отбор.
Приспособленность.*

?

1. В чем состоит действие естественного отбора?
2. Можно ли получить экспериментальные подтверждения действия отбора?
3. Что приводит к борьбе за существование?
4. Какие формы борьбы за существование вы знаете?

7.5. Формы естественного отбора



1. Какие факторы внешней среды могут приводить к отбору организмов в природе?
2. Являются ли взаимоотношения между различными видами организмов фактором естественного отбора?

Важно понять, что естественный отбор не создает новых фенотипов или генотипов, он служит лишь механизмом отсева наименее приспособленных и выживания наиболее приспособленных в бесконечной борьбе за существование.

Иногда естественный отбор направлен на поддержание уже существующих фенотипов. Это *стабилизирующий отбор*. Биологам известны хорошие подтверждения существования стабилизирующего отбора. Например, окраска водяного ужа, живущего на островах некоторых озер, делает его незаметным в зарослях растительности. Однако время от времени в результате мутаций появляются особи, имеющие другую окраску. Эта новая окраска наследуется. Тем не менее численность мутантов не растет: их быстро уничтожают

хищные птицы, хорошо различающие их на фоне водной растительности. Следовательно, им редко удается дожить до половой зрелости и оставить потомство.

Стабилизирующий отбор обычен там, где условия жизни остаются постоянными в течение длительного периода, например в северных широтах и на океанском дне. Здесь десятки и сотни миллионов лет не происходит никаких заметных изменений, а организмы уже достаточно хорошо приспособились к жизни в этой среде. Стабилизирующий отбор действует и в более изменчивых местах — на горных лугах, на безводных песчаных дюнах: здесь условия меняются быстрее, чем на дне океана, но тем не менее остаются постоянными достаточно длительное время по сравнению с продолжительностью жизни отдельных поколений.

Вторая форма естественного отбора — *движущий отбор*. В противоположность стабилизирующему эта форма отбора способствует изменениям фенотипов. Действие движущего отбора может проявляться очень быстро в ответ на неожиданные и сильные изменения внешних условий. Классический пример — случай с одним из видов бабочек, перечной пяденицей.

В XVIII столетии английские коллекционеры бабочек очень редко находили темных представителей этого вида; перечная пяденица обычно имеет светлую окраску. Темнокрылые бабочки — это особи с высоким содержанием пигмента меланина. И обычная и темная формы пяденицы проводят время на густо покрытой лишайниками коре берез, где отдыхают и питаются. Кстати, обычная раскраска особей этого вида напоминает лишайник, что позволяет им хорошо маскироваться в природе. Птицы и другие охотники за бабочками с трудом различают светлых бабочек, когда они сидят на деревьях. Темная бабочка не имеет естественной маскировки, и ее легко обнаружить. По этой причине она более уязвима для птиц, и коллекционерам найти ее бывает непросто.

В середине XIX столетия в Англии происходила промышленная революция. Фабричные районы были сильно загрязнены. Кора многих деревьев покрылась сажой, особенно вблизи фабрик и заводов. Одновременно в этих районах начала расти численность темных пядениц, тогда как численность светлых бабочек заметно сократилась (рис. 74). Уче-

ные высказали предположение, что изменения в составе популяции пядениц есть не что иное, как следствие естественного отбора, связанного с изменениями в окружающей среде. Один из натуралистов провел эксперимент, выпустив одинаковое количество темных и светлых бабочек в лесу вдали от фабрик. В ходе наблюдений было установлено, что темных бабочек усиленно выедают птицы. Проведя тот же опыт в окрестностях одного из индустриальных городов, ученый обнаружил прямо противоположную картину: в условиях загрязнения быстрее выедались светлые особи. Впоследствии британским инженерам удалось снизить выбросы дыма и сажи вблизи городов. Это привело к восстановлению состава популяции и исходного соотношения темных и светлых особей.

Другой пример связан с изучением изменения восприимчивости некоторых видов комаров к действию инсектицидов (ядов). Отбор помог многим видам насекомых противостоять ядам. У некоторых видов комаров, например, имеет-

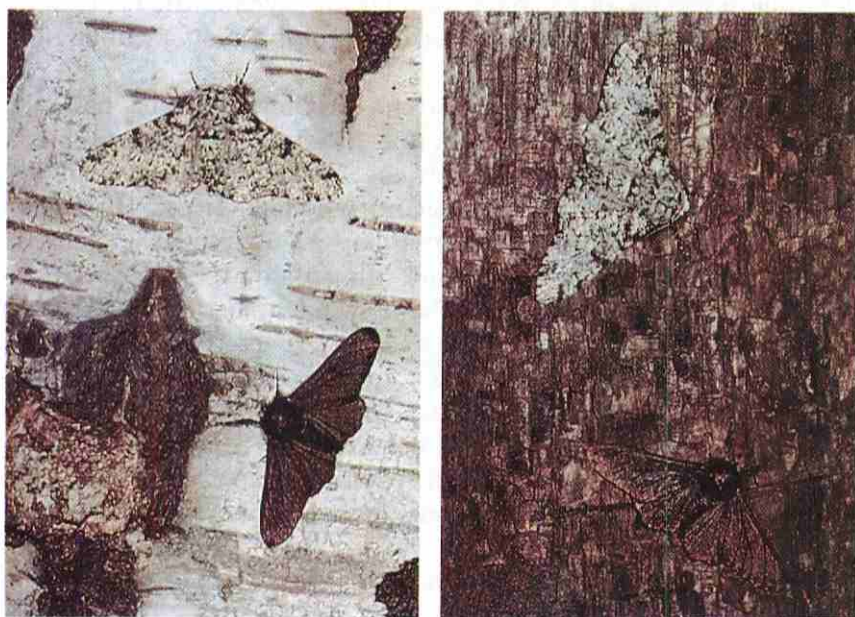


Рис. 74. Темные и белые пяденицы на разных субстратах. На коре березы темные пяденицы хорошо заметны, а на темном фоне различить их трудно

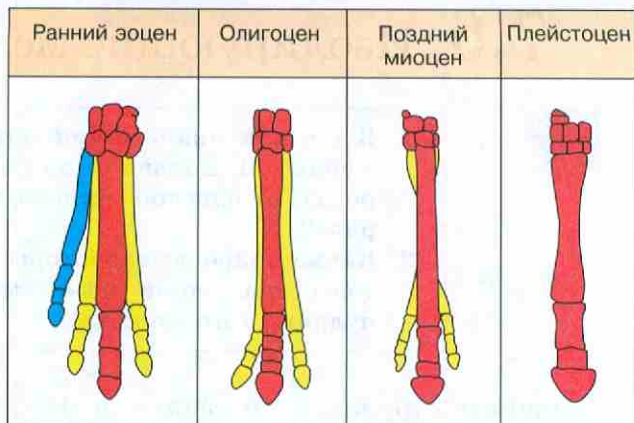


Рис. 75.
Эволюция
стопы лошади

ся ген, кодирующий образование фермента, который блокирует действие малых доз яда. Там, где используются инсектициды, большинство комаров погибает, выживают единицы, но способные вырабатывать соответствующий фермент с удвоенной скоростью. Они-то и дают начало новой популяции, особи которой практически невосприимчивы к яду.

Мы рассмотрели примеры, когда действие движущего отбора проявляется очень быстро — в течение всего нескольких десятилетий — в ответ на резкие изменения условий существования организмов. В большинстве случаев, однако, процесс отбора идет очень медленно. Столь же долго протекают и связанные с ним популяционные изменения. Таким образом, действие отбора может быть обнаружено лишь в форме постепенных и не всегда отчетливых изменений в процессе изучения ископаемых форм. Классический пример таких изменений дает восстановленная картина эволюции стопы лошади (рис. 75).

Стабилизирующий отбор. Движущий отбор.

?

1. Что такое стабилизирующий отбор? В каких условиях его действие проявляется наиболее заметно?
2. Что такое движущий отбор? Приведите примеры его действия. В каких условиях действует данная форма отбора?

7.6. Изолирующие механизмы



1. В чем причина отличия организмов, обнаруженных Ч. Дарвином на Галапагосских островах, от близкородственных форм на материке?
2. Какие природные факторы изолируют некоторые популяции организмов от других популяций того же вида?

Дарвин обнаружил, что различия между популяциями одного вида проявляются в форме *адаптаций* к различным условиям жизни. В свете современных знаний это означает, что у особей в популяциях формируются некоторые генетически закрепленные свойства, отличающие их друг от друга и обеспечивающие наилучшую приспособленность организмов к условиям той или иной местности. Вот пример. Популяции атлантической сельди в разных районах океана размножаются в разное время года. Необходимым условием выживания молоди сельди является совпадение в сроках вылупления из икры личинок и развития мелкого фитопланктона — их основной пищи. В зависимости от широты местности пик развития фитопланктона происходит весной, летом, осенью или зимой. Соответственно различают весенне-, летне-, осенне- и зимнеперестояющихся сельдей, популяции которых живут обособленно, имеют небольшие внешние различия, но относятся к одному виду и могут скрещиваться, давая плодовитое потомство.

Могут ли различия между популяциями приводить к их *репродуктивной изоляции*, к утрате способности особей из разных популяций свободно скрещиваться друг с другом?

Популяции, живущие на разных островах, изолированы друг от друга, и их особи практически не смешиваются. Ясно, что в условиях такой чисто географической изоляции различия в строении или поведении постепенно накапливаются, и это в конце концов может привести к образованию новых видов животных или растений.

Как особи разных популяций теряют возможность скрещиваться и обмениваться генами с другими особями тех же

видов? Происходит ли это просто в силу географического разобщения или существуют иные механизмы? Ответы на эти вопросы дают ключ к пониманию механизмов видообразования.

Установлено, что и физические факторы среды обитания, и биологические свойства организмов могут приводить к ограничениям генного обмена. Это происходит в результате срабатывания *изолирующих механизмов* различных типов.

Рассмотрим некоторые примеры.

На Гавайских островах обитают два вида фруктовых мушек, которые внешне очень похожи. Оба вида живут в одних и тех же местах, питаются соком одного и того же древесного растения. При этом один вид питается соком, стекающим по стволам и ветвям в верхних ярусах дерева, в то время как другой — лужицами сока на лесной подстилке. Скрещивание между этими видами никогда не происходит из-за их пространственной разобщенности. Этот пример показы-

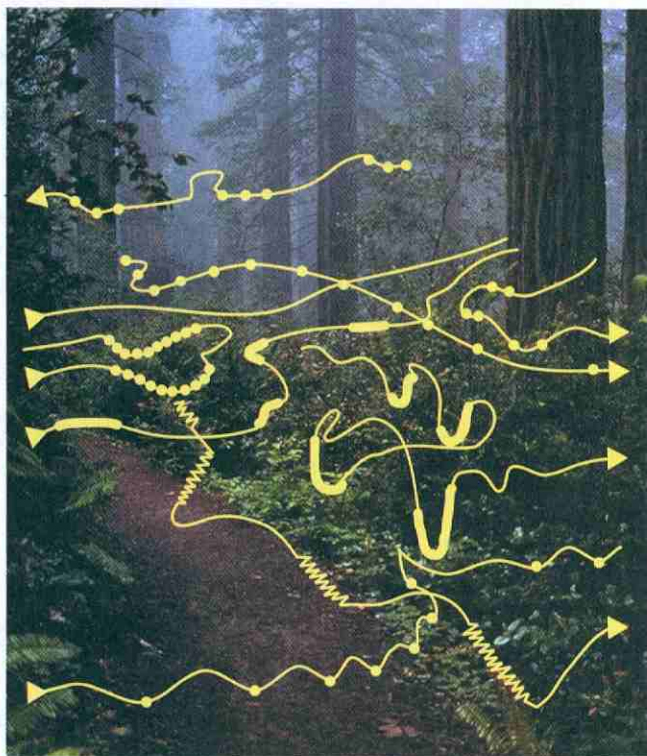


Рис. 76.
Различные
типы световых
сигналов —
пример пове-
денческих
механизмов
изоляции

вает, что генетические различия между популяциями могут возникать в результате разной *экологической специализации*.

Интересный пример *поведенческой изоляции* демонстрируют различные виды светлячков. Для каждого из обитающих вместе видов характерна определенная световая траектория и типы испускаемых световых сигналов. Траектории могут быть зигзагообразными, прямыми или в форме петли, а световые пульсации — короткими или длинными в виде устойчивых отблесков (рис. 76). При спаривании особи выбирают друг друга, строго ориентируясь на тип светового сигнала. Этот пример показывает, что изоляция между популяциями может закрепляться путем формирования определенных типов поведения — выработки рефлекторных реакций лишь на сигналы того или иного типа.

Цветочную пыльцу некоторых видов растений, например орхидей, разносят лишь определенные виды животных, чье инстинктивное поведение — залог того, что генный обмен будет происходить только среди особей своего вида.

У животных с наружным оплодотворением изолирующие механизмы срабатывают на молекулярном уровне. У морских звезд и некоторых видов моллюсков роль изолирующих факторов играют различия в строении специальных белковых молекул, которые связывают сперму и яйцеклетки. Находясь на поверхности яйцеклеток, эти молекулы реагируют лишь на сперматозоиды «своего» вида, что исключает возможность слияния половых продуктов разных ви-

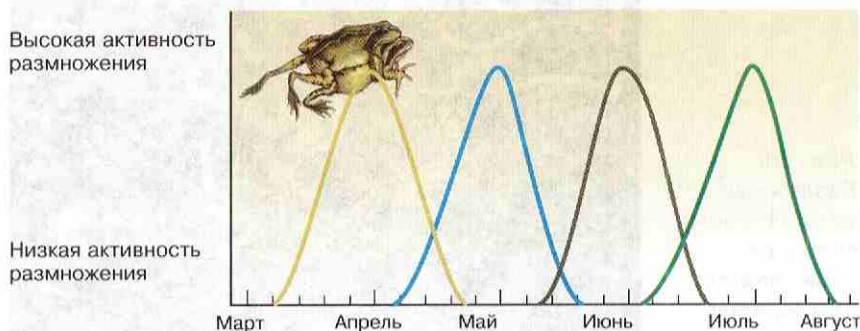


Рис. 77. Несовпадение в сроках размножения как пример изолирующего механизма

дов. У животных с внутренним оплодотворением эту роль выполняют различия в строении половых органов.

Наконец, у многих животных период размножения начинается при строго определенных сочетаниях внешних факторов (например, температуры и освещенности). Эти факторы действуют на них как сигналы к началу спаривания. Разные виды реагируют на одни и те же факторы по-разному, благодаря этому сроки размножения у них не совпадают. На рисунке 77 показаны различия в сроках размножения у разных видов амфибий, живущих в одних и тех же районах.

Изолирующие механизмы препятствуют развитию организма из зиготы, образовавшейся в результате слияния гамет самца и самки разных видов. Гибриды, возникшие таким образом, обычно быстро погибают или остаются бесплодными. Например, мул — гибрид лошади и осла — стерилен, он не может произвести потомство из-за того, что при его наборе хромосом невозможен мейоз. Бесплодны гибриды зайца-беляка и зайца-русака, куницы и соболя.

Репродуктивная изоляция. Изолирующие механизмы.

?

1. Что такое изолирующие механизмы? В чем значение изолирующих механизмов?
2. Какие виды изолирующих механизмов вам известны? Приведите примеры.
3. Почему гибриды различных видов организмов стерильны?

7.7. Видообразование



1. Дайте определение вида.
2. Какие критерии вида вам известны?

Что же такое вид? С возникновением популяционной генетики категория вида была определена более точно. Современные ученые определяют вид как группу реально или потенциально скрещивающихся популяций, которые репродуктивно изолированы от других таких групп.

Репродуктивная изоляция — ключевое понятие современного толкования вида. Особи одного вида могут скрещиваться друг с другом, но никогда — с организмами другого вида. Например, роза и вишня — оба вида из семейства розоцветных — никогда не скрещиваются. Репродуктивная изоляция, таким образом, обеспечивает точный критерий для определения принадлежности данных организмов к одному виду.

Возникновение новых видов может происходить различными путями. Важнейшую роль в этом процессе играют изолирующие механизмы, а сам процесс видообразования называют *микроэволюцией*.

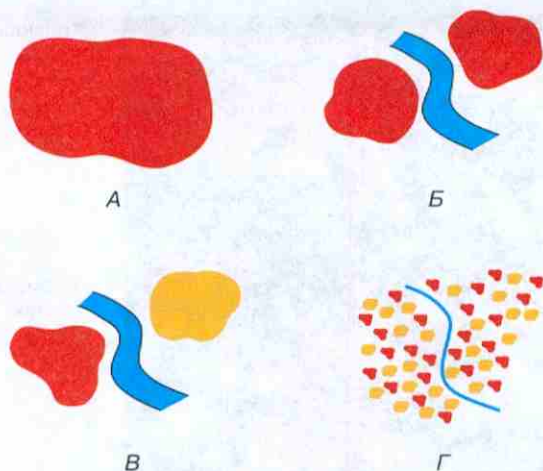
Географическое видообразование. Новый вид может появиться вследствие расчленения ареала популяции или группы популяций *барьерами*. Этот процесс может происходить на границе области распространения исходного вида, где условия жизни несколько отличаются от обычных и где активно протекают процессы естественного отбора. Такое видообразование, связанное с пространственной разобщенностью популяций, часто называют *географическим*. Схематически процесс географического видообразования представлен на рисунке 78.

Предположим, что популяцию некоторого вида разделяет барьер. Это может быть физическая или географическая преграда — река, канал, карьер и т. д. Наличие барьера препятствует свободному скрещиванию особей, а значит — генному обмену. В результате естественного отбора в популяциях накапливается все больше и больше генетических различий. Со временем эти различия становятся столь значительными, что включаются те или иные механизмы репродуктивной изоляции.

Примером такого процесса может быть возникновение некоторых видов рыб, предки которых обитали в море, но в ледниковое время смогли освоить сначала солоноватые водоемы, возникшие в ходе таяния ледников на границах моря и материка, а затем и пресные на территории современной Европы и Азии. По мере отступления ледника пресные водоемы оказались полностью изолированными. Под влиянием новых условий некоторые рыбы, претерпев значительные изменения, образовали новые виды. К ним можно отнести, например, налима — близкого родственника типично морского вида трески.

Другой пример — возникновение разных видов ландыша от исходного вида, обитавшего миллионы лет назад в широ-

Рис. 78. Схема географического видообразования: А — единая исходная популяция; Б — географический барьер приводит к возникновению двух популяций; В — две популяции становятся генетически различными; Г — репродуктивная изоляция сохраняется даже после исчезновения барьера



колиственных лесах Европы. Нашествие ледника разорвало единый ареал ландыша на несколько частей. Он сохранился на лесных территориях, избежавших оледенения: на Дальнем Востоке, юге Европы, в Закавказье. Когда ледник отступил, ландыш вновь распространился по Европе, образовав новый вид — более крупное растение с широким венчиком, а на Дальнем Востоке — вид с красными черешками и восковым налетом на листьях.

Такое видообразование происходит медленно, для его завершения в популяциях должны смениться сотни тысяч поколений. Эта форма видообразования предполагает, что: физически разделенные популяции расходятся генетически; со временем они становятся полностью изолированными и отличными друг от друга вследствие естественного отбора.

Полиплоидизация. Исследования показывают: генетические различия между популяциями могут накапливаться не только в результате длительного естественного отбора генотипов, несущих в себе полезные для данных условий признаки, но и другим, более быстрым путем. У растений, например, изолирующие механизмы могут возникать в течение жизни одной-единственной генерации посредством внезапного умножения числа хромосом, или *полиплоидии*. Кратное возрастание числа хромосом в пределах одного вида может происходить самопроизвольно; но иногда умножение хромосом возникает в результате скрещивания близ-

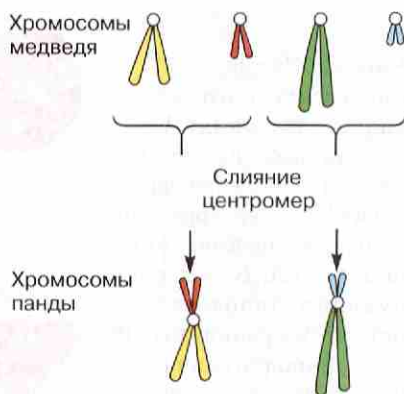
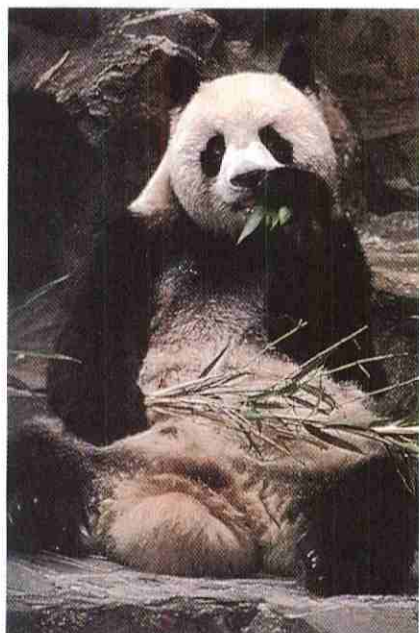


Рис. 79. Панда (слева). Хромосомы медведя и панды (справа) различаются положением центромер

кородственных организмов. Например, культурная слива с $2n = 48$ возникла путем скрещивания терна ($n = 16$) с алычой ($n = 8$) с последующим удвоением числа хромосом.

Полиплоидами являются многие хозяйственно ценные растения, например картофель, табак, хлопок, сахарный тростник, кофе и др. У таких растений, как табак, картофель, исходное число хромосом равно 12, но имеются виды с 24, 48, 72 хромосомами.

Хромосомные наборы животных также могут быстро меняться. Полиплоидами являются, например, некоторые виды рыб (осетры, щиповки и др.), кузнечиков, других животных. Считается, что гигантская панда произошла от медведя в результате внезапных хромосомных изменений. У панды 42 хромосомы, у медведя 74, хромосомы панды и медведя различаются и по форме (рис. 79). Панда сильно разошлась с медведем и по внешнему строению и по образу жизни: она питается бамбуком и почти не ест мяса.

Образование новых видов в результате хромосомных перестроек может происходить в популяциях, населяющих один и тот же географический район и не разделенных барьерами.

Таким образом, можно заключить, что виды могут возникать различными способами — как в течение тысячелетий, так и очень быстро.

Микроэволюция.

Географическое видообразование.

Барьеры. Полиплоидия.

?

1. Назовите основные формы видообразования. Приведите примеры географического видообразования.
2. Что такое полиплоидия? Какую роль она играет в образовании видов?
3. Какие из видов растений и животных возникли в результате хромосомных перестроек?

7.8. Макроэволюция



1. Какие виды древних растений и животных вам известны?
 2. Что такое таксономические группы?
-

Становление и развитие крупных таксономических групп. Обычно слово «эволюция» вызывает в воображении образы динозавров, лесных мамонтов, вмерзших в глыбы льда, и другие подобные картины. Эти следы древних форм жизни, давно вымерших и сохранившихся лишь в виде ископаемых остатков, в совокупности дают нам некоторое представление об отдельных фрагментах эволюционной истории. Говоря об эволюции с этих позиций, мы обычно подразумеваем изменения состава жизненных форм на Земле в течение очень длительных промежутков времени, когда старые формы сменили новые. Этот процесс называется *макроэволюцией*.

Мы познакомились с тем, как механизмы видообразования могут приводить к возникновению новых жизненных форм. Остается, однако, неясным, как происходит формирование более высоких таксономических категорий: рода,

семейства, отряда, класса и др. Заметим, что не существует даже таких терминов, как, например, «родообразование», «семействообразование» и им подобных.

Причина кроется в том, что высшие таксономические категории представляют собой отчасти абстрактные понятия: группы объединяемых в них организмов не имеют общего генофонда и не обмениваются генетическим материалом во время размножения, как это имеет место в пределах видов. Эти группы представляют собой некие мысленные конструкции, выстроенные на основе изучения и сопоставления близких (а значит, родственных) форм и установления таким образом их эволюционных связей. Тем не менее нет принципиальных различий между процессами образования новых видов, т. е. микроэволюцией, и процессами формирования более высоких таксономических групп. В макроэволюции действуют те же процессы: образование фенотипических изменений, борьба за существование, естественный отбор, вымирание наименее приспособленных форм.

Результатом макроэволюционных процессов становятся существенные изменения внешнего строения и физиологии организмов — такие, например, как формирование замкнутой системы кровообращения у животных или появление устьиц и эпителиальных клеток у растений. К фундаментальным эволюционным приобретениям такого рода относятся образование соцветий или превращение передних конечностей рептилий в крылья и ряд других.

Наиболее убедительные доказательства макроэволюционных процессов дают нам палеонтологические данные.

Ископаемые остатки. Палеонтология изучает ископаемые остатки вымерших организмов и устанавливает их сходство и различия с современными организмами. По остаткам палеонтологи реконструируют внешний облик вымерших организмов, узнают о растительном и животном мире прошлого. К сожалению, изучение ископаемых форм дает нам неполную картину эволюции флоры и фауны. Большинство остатков состоит из твердых частей организмов: костей, раковин, внешних опорных тканей растений. Большой интерес вызывают окаменелости, сохранившие на себе следы нор и ходов древних животных, отпечатки конечностей или целых организмов, оставленных на когда-то мягких отложениях.

С помощью палеонтологических находок удалось почти полностью реконструировать *филогенетические ряды*, т. е. ряды видов, последовательно сменявших друг друга в процессе эволюции различных групп животных и растений. Примером может служить эволюция лошади. Ее далекий предок, ростом с небольшую собаку, обладатель четырехпалых передних конечностей и бугорчатых зубов травоядного типа, жил в местностях с мягким климатом и обильной пищей. К концу неогена растительность здесь стала сухой, грубой и скудной. Для пропитания необходимо было перемещаться по более обширным пространствам. Естественный отбор привел к удлинению конечностей, сокращению количества пальцев, что способствовало быстрому бегу. Изменение характера пищи привело к образованию складчатых зубов. Произошла мощная перестройка организма этих живот-

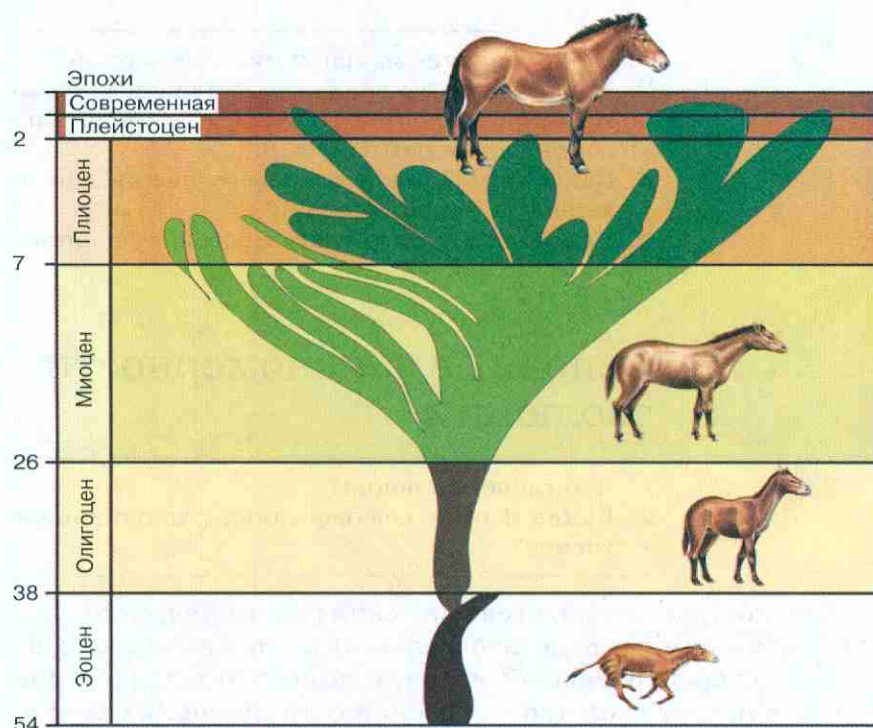


Рис. 80. Эволюция лошади

ных, и современная лошадь напоминает своего предка очень отдаленно (рис. 80).

К сожалению, в большинстве случаев особенности эволюционных изменений остаются для нас неизвестными, потому что далеко не всегда удается найти промежуточные формы: две трети всех организмов, которые когда-либо существовали на Земле, утрачены для науки. Их нет среди ископаемых видов. Например, беспозвоночные обитатели древних морей имели мягкие тела, у них не было твердого скелета, зубов или иных твердых образований, и они вымерли, не оставив никаких следов, по которым можно было бы восстановить их облик.

*Макроэволюция. Микроэволюция.
Филогенетические ряды.*

?

1. В чем различие макро- и микроэволюции?
2. Какие процессы являются движущими силами макроэволюции? Приведите примеры макроэволюционных изменений.
3. Какие факты лежат в основе изучения и доказательств макроэволюции?
4. Какое значение имеет исследование филогенетических рядов?

7.9. Основные закономерности ЭВОЛЮЦИИ



1. Что такое эволюция?
2. Какие факты подтверждают эволюционное учение?

При построении филогенетических рядов биологи-эволюционисты, помимо палеонтологических данных, широко используют сравнительный метод, с помощью которого они устанавливают сходство в строении организмов, их биохимических реакциях, особенностях размножения или иных свойствах, по которым можно судить о путях развития группы от общего предка.

Изучая процесс эволюции, ученые выделяют следующие характерные типы эволюционных изменений: *параллелизм*, *конвергенция* и *дивергенция*. Иногда один филогенетический ряд может содержать в себе примеры изменений различного типа.

Параллелизм. Хороший пример параллельных изменений дает эволюция дикобраза. Два разных вида этого колючего млекопитающего эволюционируют независимо друг от друга в Африке и в Южной Америке. Более 70 млн лет назад, когда они обитали вместе, их общий предок был похож на большую, покрытую шерстью крысу. Когда два континента разошлись, популяция разделилась на две части, каждая из которых развивалась независимо от другой. Однако, поскольку условия существования обеих новых популяций были сходны, развитие дикобразов шло параллельными путями. Несмотря на то что они самостоятельно жили более 70 млн лет, и американский и африканский дикобразы очень близки по строению и образу жизни и занимают сходные ниши в сообществах.

Конвергенция. При *конвергентной* (от лат. *convergo* — приближаюсь, схожусь) эволюции два или более вида, не

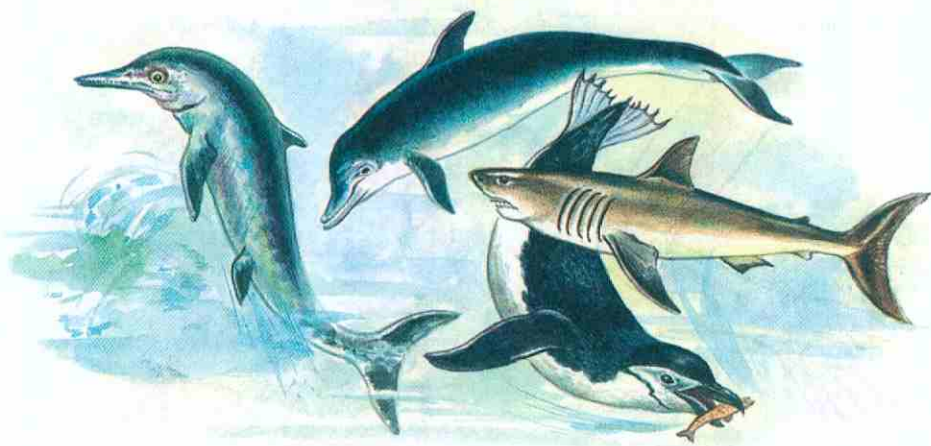


Рис. 81. Пример конвергентной эволюции — крупные водные животные, приспособленные к быстрому плаванию: дельфин (млекопитающее), акула (рыба), пингвин (птица), ихтиозавр (вымершая рептилия)

связанные близким родством, становятся все более и более похожими друг на друга. Такой тип эволюционных изменений является результатом приспособлений к сходным условиям внешней среды. Крупные водные хищники, показанные на рисунке 81, возникли в четырех совершенно разных группах: среди рыб, пресмыкающихся, птиц и млекопитающих. Их внешнее сходство возникло в процессе эволюционного развития под влиянием образа жизни и факторов внешней среды при совершенно разных исходных положениях организмов. Это сходство скрывает глубокие различия внутреннего строения и обмена веществ, которые свидетельствуют о столь же глубоких различиях эволюционной истории изображенных животных. Пути эволюционных преобразований их внешнего строения можно изобразить в виде сходящихся в общей точке векторов, начальное положение которых было совершенно различным.

Гомология и аналогия. При параллельной и конвергентной эволюции сходство внешнего строения может быть результатом *гомологии* — происхождения от общего предка (примером являются конечности разных групп позвоночных животных, рис. 82) или *анalogии* — независимой эволюции

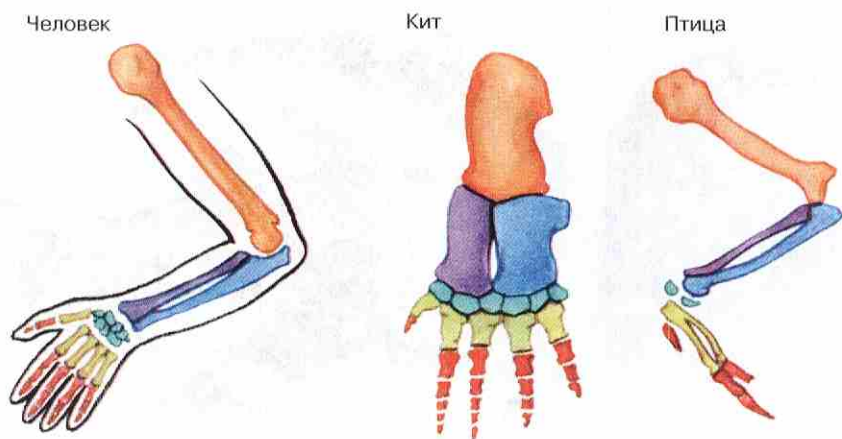


Рис. 82. Гомологичные структуры: скелет передних конечностей человека (рука), кита (лапа) и птицы (крыло). Сходство основных элементов скелета (выделены цветом) указывает на общность происхождения, различия же в строении конечностей связаны с выполнением разных функций

тех систем органов, которые выполняют сходные функции. Ясно, например, что крылья у птиц и насекомых имеют разное происхождение — это пример аналогии. Гомологичные структуры уже в эмбриональный период развиваются по одинаковым генетическим программам. Аналогичные структуры, наоборот, выполняют одинаковые функции, однако не имеют общего генетического базиса. Птицы и мухи летают в одной среде, но не имеют общего крылатого предка и путешествуют в эволюционной истории разными маршрутами.

Дивергенция. Одна из наиболее общих схем эволюционного процесса, реконструированная биологами на основе изучения палеонтологических данных, представлена обычно в виде эволюционного дерева с расходящимися ветвями. Это образ *дивергентной эволюции*, или *радиации*: общий предок дал начало двум или большему количеству форм, которые, в свою очередь, стали родоначальниками многих видов и родов. Дивергенция (от лат. *divergo* — отклоняюсь) — расходящаяся эволюция — почти всегда отражает расширение адаптаций к новым жизненным условиям. Так, класс млекопитающих распался на многочисленные отряды, представители которых различаются по внешнему строению, особенностям экологии, по характеру физиологических и поведенческих адаптаций (насекомоядные, рукокрылые, хищные, китообразные и др.).

Главные линии эволюции. Изменения организмов в процессе эволюции могут иметь различный масштаб и характер. Для понимания исторического развития органического мира важно определить главные линии эволюции. Их выделяют три.

1. *Ароморфоз* (от греч. *airomorphosis* — поднимаю форму) — наиболее существенные эволюционные изменения. Такие изменения повышают общий уровень организации, вследствие чего жизнедеятельность организмов усиливается. Ароморфозы дают значительные преимущества в борьбе за существование, делают возможным переход в новую среду обитания. К ароморфозам у животных можно отнести появление живорождения, способности к поддержанию постоянной температуры тела, возникновение замкнутой системы кровообращения, а у растений — появление цветка,

сосудистой системы, способности к поддержанию и регулированию газообмена в листьях.

2. *Идиоадаптация* (от греч. *idios* — своеобразный и лат. *adaptatio* — приспособление) — это прогрессивные, но мелкие эволюционные изменения, которые повышают приспособленность организмов к условиям среды обитания. Идиоадаптация не сопровождается изменением основных черт организации, общим подъемом ее уровня и повышением интенсивности жизнедеятельности организма. Примеры идиоадаптаций дает защитная окраска животных или приспособления некоторых рыб (камбала, сом) к жизни у дна — уплотнение тела, окраска под цвет грунта, развитие усиков и пр. Другой пример — приспособления к полету у некоторых видов млекопитающих (летучие мыши, белки-летяги).

Примеры идиоадаптации у растений — многообразные приспособления к перекрестному опылению цветка насекомыми или ветром, приспособления к рассеиванию семян. Идиоадаптации приводят к возникновению низших таксономических групп (виды, роды, семейства).

3. *Дегенерация* (от лат. *degenero* — вырождение) ведет к упрощению организации, утрате ряда систем и органов и часто связана с переходом к паразитическому образу жизни. Упрощение организации паразита затрагивает прежде всего системы, необходимые для жизни в открытой среде, но лишние внутри хозяина — органы ориентации, пищеварения, движения и т. п.

При общем упрощении организации у паразитов возникают специфические приспособления (часто весьма изощренные) к условиям жизни внутри хозяина. У паразитических червей появляются присоски, крючки, получают значительное развитие органы размножения.

Пути эволюции крупных систематических групп (например, типов и классов) очень сложны. Нередко в развитии этих групп происходит смена эволюционных линий.

Ароморфозы случаются гораздо реже по сравнению с идиоадаптациями и знаменуют, как правило, новый этап развития органического мира. За каждым ароморфозом следует множество идиоадаптаций, которые обеспечивают более полное использование всех ресурсов среды и освоение новых местообитаний. У животных, например, крупным ароморфозом при переходе на сушу явилось развитие внут-

ренного оплодотворения, а также ряд приспособлений к развитию зародыша в яйце на суше (вспомните особенности размножения земноводных, пресмыкающихся).

Птицы и млекопитающие заняли господствующее положение среди наземных животных. Постоянная температура тела позволила им выжить в условиях оледенения и проникнуть далеко в холодные страны. Успешному развитию этих групп способствовали и ароморфозы, и идиоадаптации, которые позволили млекопитающим освоить наземную, а птицам — воздушную среду.

*Параллелизм. Конвергенция. Дивергенция.
Гомология. Аналогия. Ароморфоз.
Идиоадаптация. Дегенерация.*

?

1. Назовите основные типы эволюционных изменений.
2. Что такое параллельные изменения? конвергентные? дивергентные?
3. В чем отличие гомологичных структур от аналогичных?
4. Каковы главные линии эволюции?

Краткое содержание главы

Эволюционная идея состоит в утверждении того, что живые существа с течением времени постепенно изменяются. Заслуга Дарвина заключается в том, что он раскрыл главные движущие силы эволюции.

Дарвин увидел разительную изменчивость жизненных форм и сделал вывод, что изменения организмов от популяции к популяции соответствуют изменениям условий их обитания.

Наличие передовых свойств позволяет организмам оказываться победителями в борьбе за существование. Выживая, они имеют преимущество в передаче этих передовых свойств своему потомству. Дарвин назвал этот процесс естественным отбором.

Дарвин полагал, что основой эволюционного процесса является наследственная изменчивость. Она постоянно под-

держивается появлением мутаций и генетической рекомбинацией — непрерывным процессом перетасовки генов в процессе образования зигот. Исследователи могут измерять эти вариации с помощью специальных биохимических методов.

Популяционная генетика смогла объяснить, как ведут себя аллели в популяции, в чем состоят механизмы, изменяющие частоты аллелей. Ученые определяют эволюцию как изменения генофонда, поэтому изучение состава генофонда имеет большое значение для эволюционных исследований.

Естественный отбор уничтожает менее приспособленные генотипы, следствием чего является увеличение популяционной адаптации к условиям среды. Иногда проявления естественного отбора направлены на то, чтобы поддерживать уже существующие фенотипы. Это стабилизирующий отбор; он обычен там, где условия жизни остаются постоянными в течение длительного периода. Движущий отбор, в противоположность стабилизирующему, способствует изменениям фенотипов. Действие его может проявляться очень быстро в ответ на неожиданные и сильные изменения внешних условий.

Установлено множество изолирующих механизмов, которые могут приводить к ограничениям генного обмена. Благодаря им происходит образование новых видов.

Новый вид может возникнуть вследствие расчленения ареала популяции барьерами. Этот процесс может происходить на периферии ареала исходного вида, где условия жизни отличаются от обычных и где активизируются процессы естественного отбора. Это географическое видообразование.

Новые виды могут возникать также в результате хромосомных перестроек (полиплоидии).

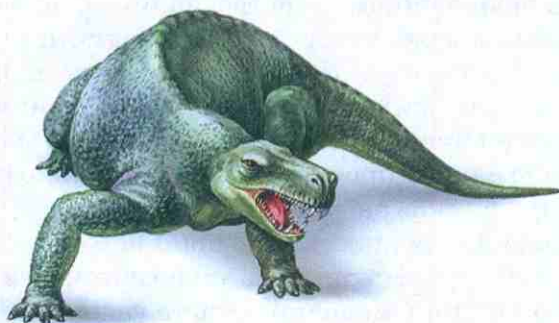
Нет принципиальных различий между процессами образования новых видов (микроэволюцией) и процессами формирования более высоких таксономических групп (макроэволюцией). В макроэволюции действуют те же процессы: возникновение фенотипических изменений, борьба за существование, естественный отбор, вымирание наименее приспособленных форм.

Ученые выделяют следующие характерные направления эволюционных изменений: параллелизм, конвергенция и дивергенция. Иногда один филогенетический ряд может содержать в себе примеры изменений различного типа.

Глава

8

Возникновение и развитие жизни на Земле



Из этой главы вы узнаете:

- *о гипотезах возникновения жизни;*
 - *об эволюции взглядов на возникновение и развитие жизни;*
 - *об основных этапах развития жизни на Земле.*
-

8.1. Гипотезы возникновения жизни



1. Что такое гипотеза?
2. Чем гипотеза отличается от закона или теории?
3. Что такое научный метод? В чем его основной принцип?

Вопрос возникновения и развития жизни на нашей планете — один из наиболее сложных и в то же время интересных в современном естествознании. С древнейших времен он занимал человечество и был предметом споров не одного поколения ученых. Не только биологи, но и химики, физики, геологи, философы до сего дня принимают активное участие в поисках ответа на него. Это объясняется тем, что решение данной проблемы имеет не только научное, но и мировоззренческое значение.

Основная трудность связана с невозможностью проведения прямого эксперимента по возникновению жизни. Ученые могут лишь моделировать те условия и процессы, которые, по их мнению, могли в конечном счете привести к появлению жизни на нашей планете. Однако недостаточность наших знаний приводит к тому, что мнения ученых по отдельным вопросам не только не совпадают, но и бывают противоположными.

Различные представления о возникновении жизни можно объединить в пять гипотез:

- 1) креационизм — Божественное сотворение живого;
- 2) самопроизвольное зарождение — живые организмы возникают самопроизвольно из неживого вещества;
- 3) гипотеза стационарного состояния — жизнь существовала всегда;
- 4) гипотеза панспермии — жизнь занесена на нашу планету извне;
- 5) гипотеза биохимической эволюции — жизнь возникла в результате процессов, подчиняющихся химическим и физическим законам.

Креационизм (от лат. creatio — сотворение) рассматривает возникновение жизни как проявление воли Бога; об этом говорится в Библии и других священных книгах. В настоящее время в США и других странах существуют центры «научного креационизма», пытающиеся обосновать эту гипотезу. Но, против «научного креационизма» выступают даже многие священники, считая его не научным и не религиозным, а скорее идеологическим течением.

Священники полагают, что верующие постигают истину через Божественное откровение и веру, а поэтому им не нужны доказательства Божественного возникновения жизни.

Главный принцип научного метода — «ничего не принимай на веру». Следовательно, логически не может быть противоречия между научным и религиозным объяснением возникновения жизни, так как эти две сферы мышления взаимно исключают одна другую.

Процесс Божественного сотворения мира мыслится как имевший место лишь единожды и поэтому недоступный для исследования. Наука занимается только теми явлениями, которые поддаются наблюдению и экспериментальному исследованию. Следовательно, с научной точки зрения гипотезу Божественного возникновения живого нельзя ни доказать, ни опровергнуть. Мы и не будем этим заниматься.

Гипотеза самопроизвольного зарождения жизни с античных времен и до середины XVII в. не подвергалась сомнению. Считалось, что живые существа могут появляться из неживой материи, например рыбы из ила, черви из почвы, мыши из тряпок, мухи из гнилого мяса; предполагалось также, что одни формы могут порождать другие, например из плодов могут образовываться птицы и животные (рис. 83).

Первый удар по представлениям о самозарождении нанесли эксперименты итальянского ученого Франческо Реди, который в 1668 г. доказал невозможность самозарождения мух в гниющем мясе. Ф. Реди взял несколько сосудов и поместил в них кусочки мяса. Часть сосудов он оставил открытыми, а часть прикрыл кисеей. Через несколько дней в открытых сосудах мясо кишело личинками мух, а в закрытых, хотя мясо и гнило, личинок не было. На этом основании был сделан вывод, что личинки появились из отложенных мухами яиц, а не самозародились.

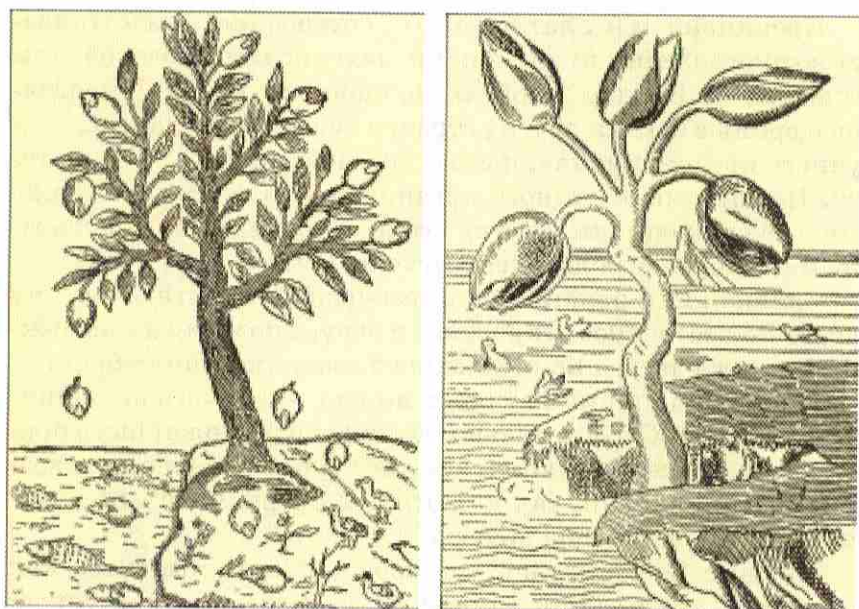


Рис. 83. Старинные представления о самозарождении: слева — превращение плодов в рыб и птиц; справа — превращение плодов в уток

Несмотря на это, идеи самозарождения жизни сохранялись до середины XIX в. Споры между сторонниками и противниками самозарождения особенно усилились после открытия микроорганизмов.

Не дали окончательного ответа на этот вопрос и эксперименты итальянского натуралиста Ладзаро Спалланцани, продемонстрировавшего невозможность самозарождения микроорганизмов в питательных бульонах после их кипячения в запаянных сосудах. Но сторонники самозарождения не сдались. Они утверждали, что «жизненная сила», находящаяся в воздухе, от высокой температуры разрушается, а так как сосуд запаян, то и самозарождение невозможно.

В 1859 г. Французская академия наук учредила премию тому, кто, наконец, сможет разрешить эту проблему. Эту премию в 1862 г. получил французский ученый Луи Пастер, который провел простой, но очень показательный эксперимент. Он кипятил бульон в колбах с длинным S-изогнутым кончиком, в котором оседали все споры микроорганиз-

мов, содержащиеся в воздухе, поступавшем в колбу после кипячения (рис. 84). Хорошо прокипяченная питательная среда оставалась стерильной, хотя доступ воздуха с «жизненной силой» был обеспечен, но стоило смочить бульоном изогнутое колено, как в колбе начиналось интенсивное размножение микроорганизмов.

Так окончательно была опровергнута гипотеза самозарождения жизни. Был сформулирован закон «все живое из живого», имевший большое значение для развития биологии.

Однако это породило другую проблему. Если для возникновения живого организма необходим другой живой организм, то откуда взялся первый живой организм? Что, в свою очередь, дало толчок к появлению гипотезы панспермии.

Гипотеза панспермии имеет много сторонников, в том числе и среди видных ученых. Они считают, что впервые жизнь возникла не на Земле, а споры бактерий и других микроорганизмов могли быть занесены на нее с помощью метеоритов. Действительно, в научной печати появляются сообщения о нахождении в метеоритах объектов, напоминающих примитивные формы жизни, тем не менее с полной уверенностью говорить об их биологической природе ученые еще не могут.

Однако гипотеза панспермии не предлагает никакого объяснения первичного возникновения жизни, она лишь пытается объяснить появление жизни на Земле. Она не отвечает на вопрос, как возникла жизнь, а переносит эту проблему в какое-то другое место Вселенной.

Отрицание факта самозарождения жизни в настоящее время не противоречит представлениям о принципиальной

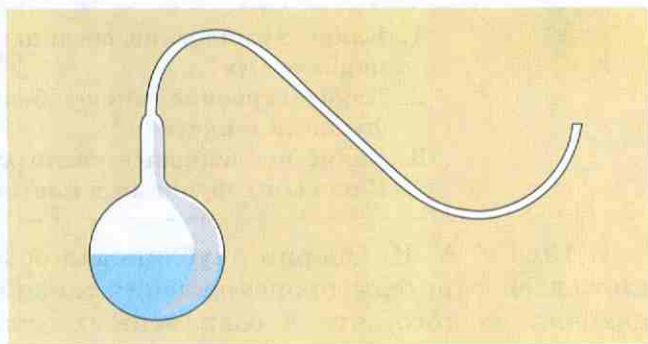


Рис. 84. Колба Пастера

возможности развития жизни в прошлом из неорганической материи.

В 20-е гг. XX в. русский ученый А. И. Опарин и англичанин Дж. Холдейн высказали гипотезу о возникновении жизни в процессе биохимической эволюции углеродных соединений. Эта гипотеза и легла в основу современных представлений.

Креационизм. Самопроизвольное зарождение.

Гипотеза стационарного состояния.

Гипотеза панспермии.

Гипотеза биохимической эволюции.

?

1. Какие гипотезы возникновения жизни вам известны?
2. Почему представление о Божественном происхождении жизни нельзя ни подтвердить, ни опровергнуть?
3. На какой вопрос не отвечает гипотеза панспермии?
4. Какие опыты показали невозможность самозарождения жизни в настоящее время?

8.2. Развитие представлений о происхождении жизни. Гипотеза Опарина — Холдейна



1. Какие химические соединения называются полимерами?
2. Какое строение имеют белки? Каковы их функции в клетках?
3. Какие нуклеиновые кислоты вам известны? Каковы их функции в клетке?

В 1924 г. А. И. Опарин опубликовал основные положения своей гипотезы происхождения жизни на Земле. Он исходил из того, что в современных условиях возник-

новение живых существ из неживой природы невозможно. Абиогенное (т. е. без участия живых организмов) возникновение живой материи возможно было только в условиях древней атмосферы и отсутствия живых организмов.

Предполагается, что Солнце и планеты Солнечной системы возникли из облака космической пыли. Возраст Земли составляет более 5 млрд лет. Сначала температура Земли была очень высокой, по мере ее остывания тяжелые вещества оседали к центру и образовывали ядро планеты, а более легкие — ее оболочку. Постепенно газы, вовлеченные во внутренние слои планеты, начали выделяться, и благодаря им образовалась земная атмосфера. В ее состав входили метан (CH_4), аммиак (NH_3), углекислый газ (CO_2), водород (H_2), вода (H_2O). Когда температура поверхности планеты стала ниже 100°C , из водяных паров атмосферы образовались первичные моря и океаны.

Постоянные ливни и сильнейшие грозовые разряды сотрясали первичную атмосферу планеты. В этих условиях, по мнению А. И. Опарина, под действием мощных электрических разрядов, а также ультрафиолетового излучения (кислород в атмосфере отсутствовал, и, следовательно, не было защитного озонового экрана) и высокой радиации могли возникать органические соединения, которые накапливались в океане, образуя «первичный бульон».

В 1953 г. это предположение А. И. Опарина было экспериментально подтверждено опытами американского ученого С. Миллера. В созданной им установке (рис. 85) были смоделированы условия, предположительно существовавшие в первичной атмосфере Земли. В результате опытов были получены аминокислоты. Сходные опыты многократно повторялись в различных лабораториях и позволили доказать принципиальную возможность синтеза в таких условиях практически всех мономеров основных биополимеров. В дальнейшем было установлено, что при определенных условиях из мономеров возможен синтез более сложных органических биополимеров: полипептидов, полинуклеотидов, полисахаридов и липидов.

Следующим этапом, по мнению А. И. Опарина, было образование многомолекулярных комплексов — *коацерватов*.

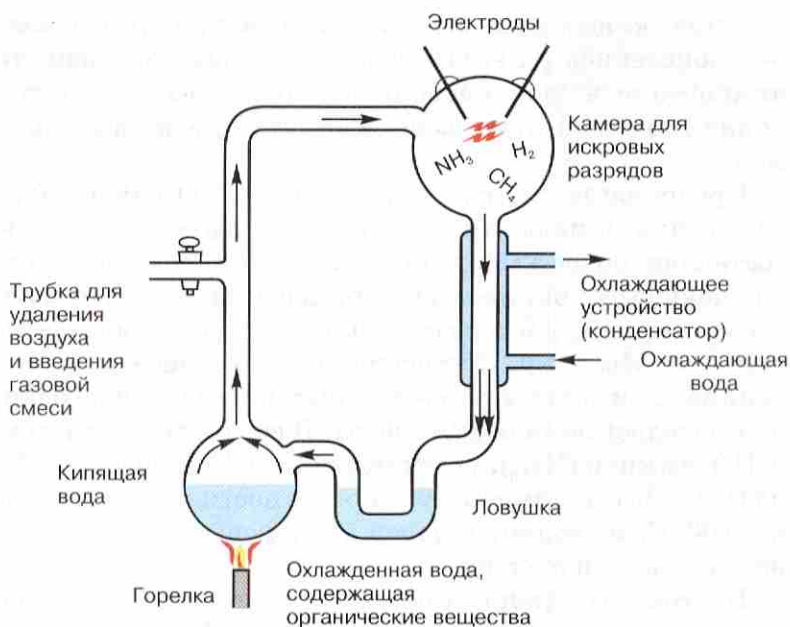


Рис. 85. Опыт, имитирующий условия первичной атмосферы Земли

Известно, что в концентрированных растворах белков, нуклеиновых кислот, полисахаридов при определенных условиях могут образовываться сгустки, называемые коацерватными каплями, или коацерватами (рис. 86). Коацерваты могут

расти за счет синтеза новых соединений, происходящего с участием химических веществ, поступающих в них из раствора.

Коацерваты — это еще не живые существа. У них проявляются лишь некоторые признаки, характерные для живых организмов, — рост и обмен веществ с окружающей средой.

А. И. Опарин полагал, что решающая роль в превращениях неживого в живое принадлежит белкам. Белковые коацерваты он рассматривал как *пробионты* — предшественники живого организма. В коацерватные капли из внешней среды поступали ионы металлов, выступавшие в качестве первых катализаторов. Из огромного количества химических соединений, присутствовавших в «первичном бульоне», отбирались наиболее эффективные в каталитическом отношении комбинации молекул, что в конечном счете привело к появлению ферментов.

На границе между коацерватами и внешней средой выстраивались молекулы липидов, что приводило к образованию примитивной клеточной мембраны.

Предполагается, что на определенном этапе белковые пробионты включили в себя нуклеиновые кислоты, создав единые комплексы.

Взаимодействие белков и нуклеиновых кислот привело к возникновению таких свойств живого, как самовоспроизведение, сохранение наследственной информации и ее передача последующим поколениям.

Пробионты, у которых обмен веществ сочетался со способностью к самовоспроизведению, можно уже рассматривать как примитивные проклетки, дальнейшее развитие которых происходило по законам эволюции живой материи.



Рис. 86. Коацерватные капли, полученные в экспериментальных условиях

Дж. Холдейн также выдвинул гипотезу абиогенного происхождения жизни. Согласно его взглядам, впервые изложенным в 1929 г., первичной была не коацерватная система, способная к обмену веществ с окружающей средой, а макромолекулярная система, способная к самовоспроизводству. Другими словами, А. И. Опарин отдавал первенство белкам, а Дж. Холдейн — нуклеиновым кислотам.

Гипотеза Опарина — Холдейна завоевала много сторонников, так как возможность абиогенного синтеза органических биополимеров получила экспериментальное подтверждение.

Однако она имеет и слабую сторону, на которую указывают ее оппоненты. В рамках данной гипотезы не удается объяснить главную проблему: как произошел качественный скачок от неживого к живому.

Коацерваты. Пробионты.

?

1. Перечислите основные положения гипотезы А. И. Опарина.
2. Какие экспериментальные доказательства можно привести в пользу данной гипотезы?
3. В чем отличия гипотезы А. И. Опарина от гипотезы Дж. Холдейна?
4. Какие доводы приводят оппоненты, критикуя гипотезу А. И. Опарина?

8.3. Современные гипотезы происхождения жизни



1. Какое строение имеют вирусы?
2. Что такое генетический код?

В настоящее время подавляющее большинство ученых поддерживают идею абиогенного зарождения жизни в процессе биохимической эволюции. Но вопросы о том, где и когда происходил абиогенный синтез органических соедине-

ний, а главное — как произошел качественный скачок от неживого к живому, пока остаются спорными.

А. И. Опарин считал, что первые живые организмы появились 3,5—3 млрд лет назад. Значит, долгое время на Земле шла химическая эволюция, приведшая к образованию первых живых организмов. Однако современные биохимические и геохимические данные все больше свидетельствуют в пользу того, что жизнь на нашей планете зародилась значительно раньше. В связи с этим многие ученые считают, что образование основной массы органических соединений произошло за пределами Земли, в период, предшествовавший ее формированию.

Действительно, органические соединения обнаружены в телах Солнечной системы, в частности в некоторых типах метеоритов. Метеориты, выпадая на поверхность сформировавшейся Земли, обогащали ее органическими соединениями, которые могли включаться в дальнейшую химическую эволюцию.

Сейчас достоверно известно, что химическая эволюция соединений углерода протекает практически на всех космических объектах, но уровня, необходимого для возникновения предклеточных структур и, далее, первичных организмов, такая эволюция, по мнению ученых, может достигнуть лишь на планетах типа Земли.

Наиболее сложен для объяснения вопрос: как в процессе химической эволюции произошло объединение двух функций — каталитической, присущей белкам-ферментам, и информационно-генетической, которую выполняют нуклеиновые кислоты (ДНК). Ведь только в этом случае возможен качественный скачок от неживого к живому.

Сторонники химической эволюции считали, что на протяжении многих миллионов лет в «первичном бульоне» происходили постоянные взаимодействия различных молекул, которые в конечном счете случайно привели к удачному сочетанию и образованию такого белково-нуклеинового комплекса в пробионте.

Скептики же совершенно справедливо отмечали, что вероятность такой счастливой случайности практически равна нулю.

Возможно, ключ к пониманию данной проблемы дадут открытия, сделанные при изучении РНК.

Считалось, что носителем генетической информации является только ДНК, но оказалось, что РНК также обладает «генетической памятью». Более того, некоторые РНК имеют явно выраженную каталитическую активность и способны к саморепродукции в отсутствие белковых ферментов. Таким образом, древняя РНК могла совмещать в себе каталитические и информационно-генетические функции, что обеспечивало макромолекулярной системе способность к саморепродукции.

Если данное предположение верно, то, очевидно, дальнейшая эволюция шла в направлении РНК → белок → ДНК.

Таким образом, в настоящее время мы не можем считать, что проблема происхождения жизни решена. Ученые продолжают искать наиболее перспективные пути ее решения. Большую роль в этих поисках могли бы сыграть данные космических исследований: теоретически жизнь возможна и в других областях Вселенной.

?

1. Какие факты указывают на возможность абиогенного синтеза органических веществ в космосе?
2. Какая проблема, на ваш взгляд, является наиболее сложной в вопросе происхождения жизни?
3. Почему ученые считают, что открытия, сделанные при изучении РНК, могут дать ключ к решению проблемы возникновения жизни?

8.4. Основные этапы развития жизни на Земле



1. Что такое клетка?
2. Какие организмы называют прокариотами?
3. В чем отличие эукариот от прокариот?

В настоящее время не вызывает сомнения тот факт, что жизнь, прежде чем она достигла современного многообразия, прошла длительный путь эволюции.

Вы уже знаете, что существует много гипотез, пытающихся объяснить возникновение и развитие жизни на

нашей планете. И хотя они предлагают различные подходы к решению данной проблемы, большинство из них предполагает наличие трех эволюционных этапов: химической, предбиологической и биологической эволюции (рис. 87).

На этапе химической эволюции происходил абиогенный синтез органических полимеров. На втором этапе формировались белково-нуклеиново-липидные комплексы (ученые называли их по-разному: коацерваты, гиперциклы, пробионты, прогеноты и т. д.), способные к упорядоченному обмену

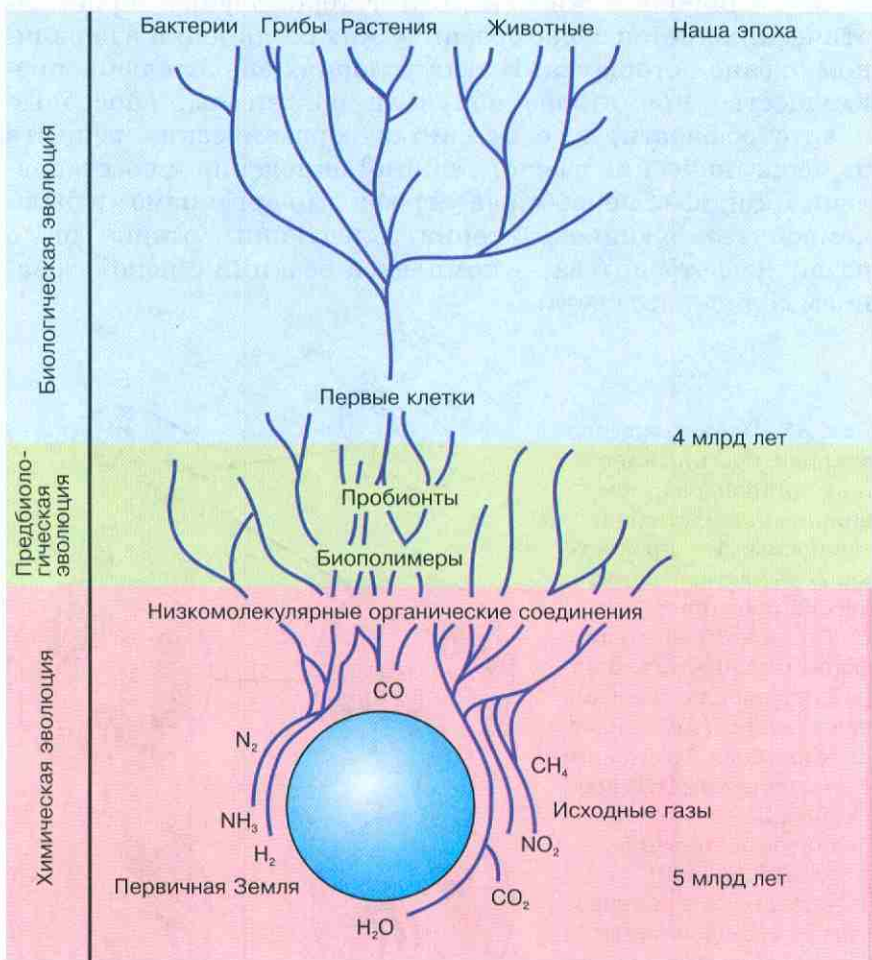


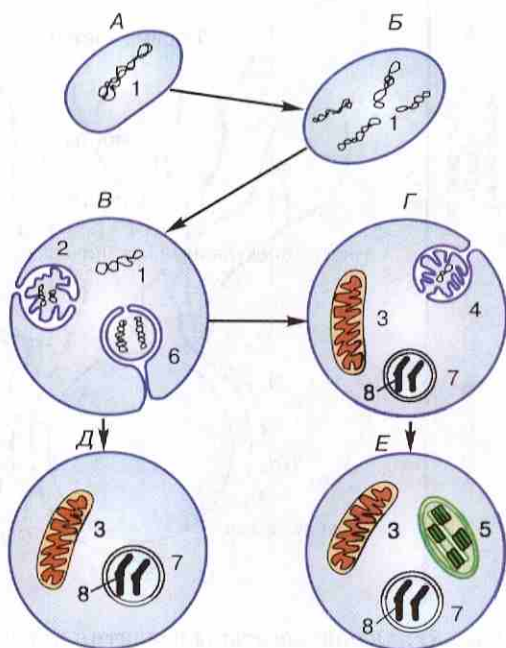
Рис. 87. Основные этапы развития жизни

веществ и самовоспроизведению. В результате предбиологического естественного отбора появились первые примитивные живые организмы, которые вступили в биологический естественный отбор и дали начало всему многообразию органической жизни на Земле.

Большинство ученых считают, что первыми примитивными живыми организмами были прокариоты. Они питались органическими веществами «первичного бульона» и получали энергию в процессе брожения, т. е. были анаэробными гетеротрофами.

С увеличением численности гетеротрофных прокариотических клеток запас органических соединений в первичном океане истощался. В этих условиях значительное преимущество при отборе получали организмы, способные к автотрофности, т. е. к синтезу органических веществ из неорганических за счет реакций окисления и восстановления. Видимо, первыми автотрофными организмами были хемосинтезирующие бактерии. Следующим этапом было развитие фотосинтеза — комплекса реакций с использованием солнечного света.

Рис. 88. Происхождение эукариотических клеток и их органоидов путем впячивания клеточной мембраны: *А* — проклетка; *Б* — клетка гипотетических прокариот; *В*, *Г* — клетки на стадии формирования митохондрий, ядра и пластид соответственно; *Д*, *Е* — клетки животных и растений; 1 — кольцевая ДНК прокариот; 2 — митохондриальное впячивание; 3 — митохондрии; 4 — пластидное впячивание; 5 — хлоропласты; 6 — ядерное впячивание; 7 — ядро; 8 — хромосомы



В результате фотосинтеза в земной атмосфере начал накапливаться кислород. Это явилось предпосылкой для возникновения в ходе эволюции аэробного дыхания. Способность синтезировать при дыхании большее количество АТФ позволила организмам расти и размножаться быстрее, а также усложнять свои структуры и обмен веществ.

Большинство ученых считает, что эукариоты произошли от прокариотических клеток. Существуют две наиболее признанные гипотезы происхождения эукариотических клеток и их органоидов.

Первая гипотеза связывает происхождение эукариотической клетки и ее органоидов с процессом впячивания клеточной мембраны (рис. 88).

Больше сторонников имеет гипотеза симбиотического происхождения эукариотической клетки. Согласно этой гипотезе, митохондрии, пластиды и базальные тельца ресничек и жгутиков эукариотической клетки были когда-то свободноживущими прокариотическими клетками. Органоидами они стали в процессе симбиоза (рис. 89).

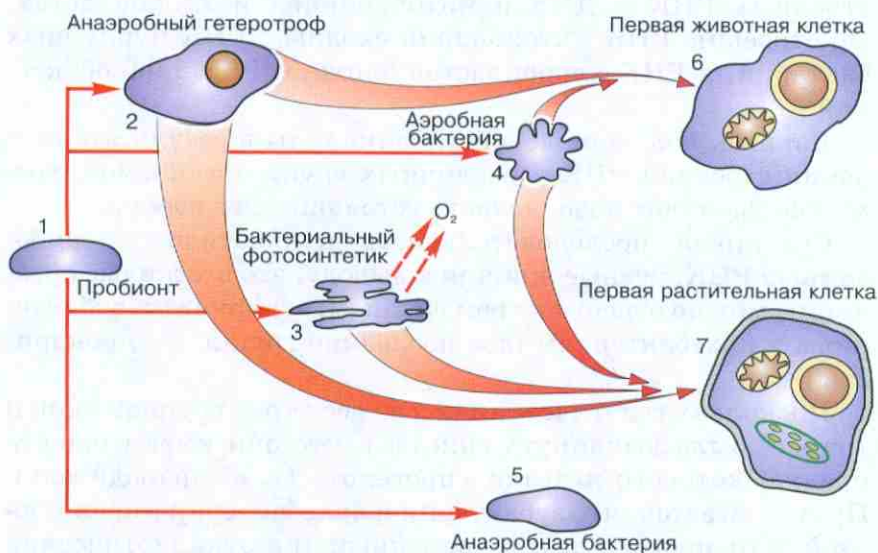


Рис. 89. Схема симбиотического образования эукариотической клетки (цифрами указан ход эволюции)

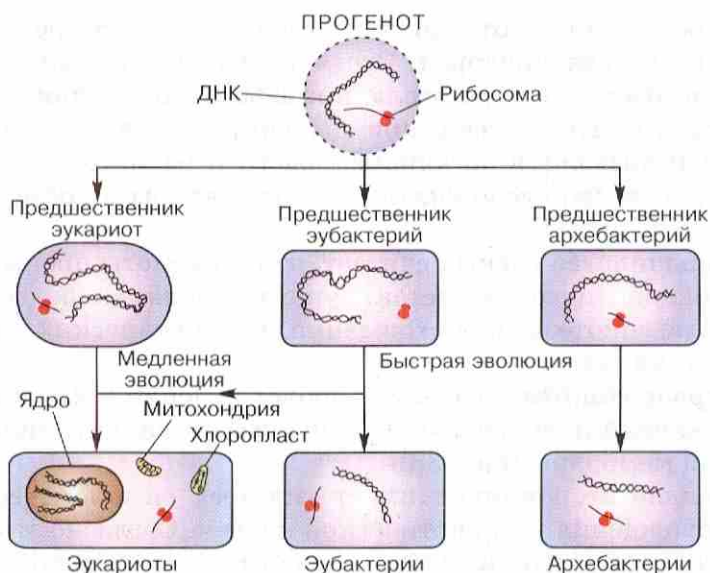


Рис. 90. Схема, иллюстрирующая гипотезу происхождения клеток от прогенота

В пользу этой гипотезы свидетельствует наличие собственных РНК и ДНК в митохондриях и хлоропластах. По строению РНК митохондрии сходны с РНК пурпурных бактерий, а РНК хлоропластов ближе к РНК цианобактерий.

Данные, полученные в последние годы в результате изучения строения РНК у различных групп организмов, возможно, заставят пересмотреть устоявшиеся взгляды.

Сравнивая последовательность нуклеотидов в рибосомных РНК, ученые пришли к выводу, что все живые организмы можно отнести к трем группам: эукариотам, эубактериям и архебактериям (две последние группы — прокариоты).

Поскольку генетический код во всех трех группах один и тот же, была выдвинута гипотеза, что они имеют общего предка, которого назвали «прогенот» (т. е. прародитель). Предполагается, что эубактерии и архебактерии могли произойти от прогенота, а современный тип эукариотической клетки, по-видимому, возник в результате симбиоза древне-го эукариота с эубактериями (рис. 90).

*Гипотеза симбиотического происхождения
эукариотических клеток.*

*Гипотеза происхождения
эукариотических клеток и их органоидов
путем впячивания клеточной мембраны.
Прогенот. Эубактерии. Археобактерии.*

?

1. Какие основные этапы можно выделить в возникновении и развитии жизни на Земле?
2. Какие гипотезы происхождения эукариотической клетки вам известны?
3. Какие доводы свидетельствуют в пользу гипотезы симбиотического происхождения эукариотической клетки?
4. Почему ряд ученых считают, что предком прокариотических и эукариотических клеток мог быть прогенот?

8.5. Развитие жизни на Земле. Эра древней жизни



1. Какие гипотезы возникновения жизни называются абиогенными?
2. Что такое эволюция органического мира?
3. Что такое ароморфоз?

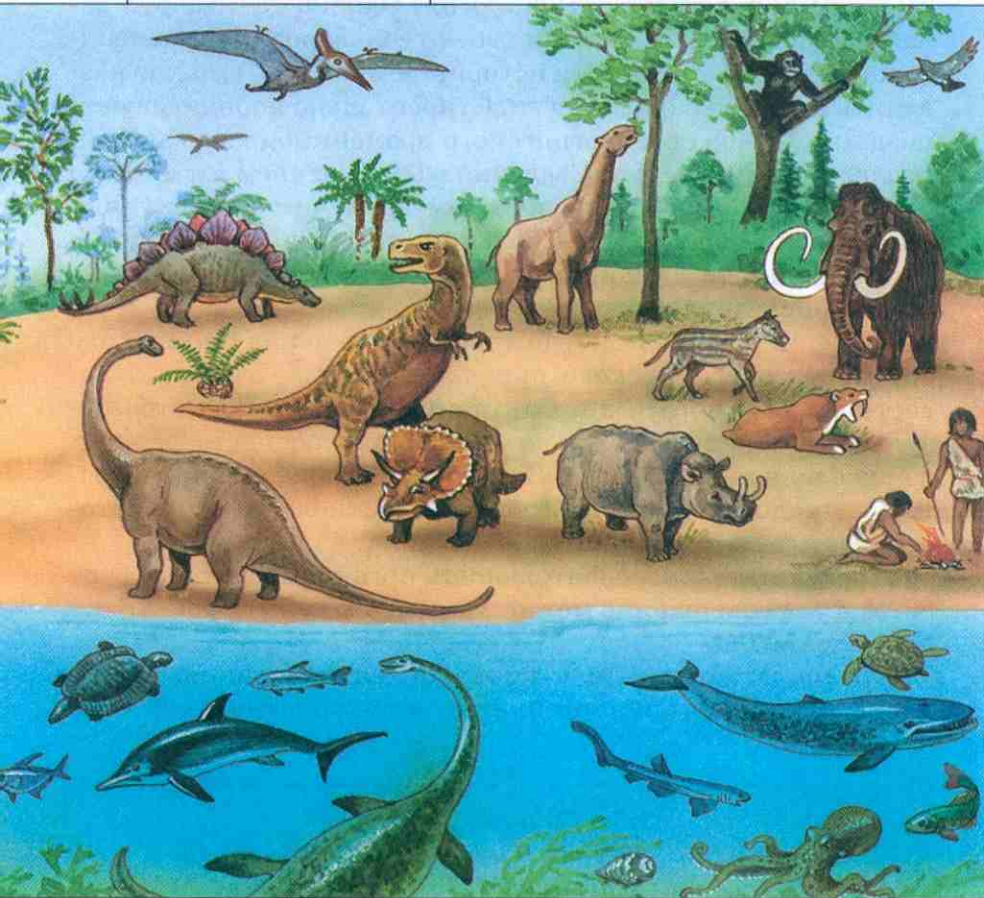
Земля как планета, по мнению большинства ученых, существует более 5 млрд лет. Если исходить из абиогенных гипотез, первым шагом в возникновении жизни на Земле был синтез органических веществ. В результате химической эволюции осуществился переход от биополимеров к первым живым организмам, которые уже развивались по законам биологической эволюции. В ходе биологической эволюции на Земле появилось бесчисленное множество форм живых организмов (рис. 91).

История Земли разделяется на длительные промежутки времени — *эры*. Эры подразделяются на *периоды*, периоды — на *эпохи*.

Эры, млн лет	Архей- ская 1000	Архео- зойская 1000	Протеро- зойская 500	Палеозойская, или древняя (палеозой) 330				
Периоды, млн лет				Кембрий- ский 65	Ордовик- ский 60	Силу- рийский 30	Девон- ский 55	Камен- угольн 75
ОРГАНИЧЕСКИЙ МИР	ФЛОРА Время бактерий и водорослей			Время псилофитовых		Вре- мя плаунов папоротник голосеменн		
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">суша</div> </div>							
мор	Время беспозвоночных			Время рыб		Время земноводн		
ФАУНА								

Рис. 91. Эволюция живых организмов на Земле

	Мезозойская, или средняя (мезозой) 173			Кайнозойская, или новая (кайнозой) 67		
Пермский 45	Триасовый 45	Юрский 58	Меловой 70	Третичный		Антропоген (четвертичный) 2
				Палеоген	Неоген	
Время архайческих групп рептилий и др.		Время голосеменных		Время покрытосеменных		



Время архайческих групп рептилий и др.	Время новых групп пресмыкающихся	Время млекопитающих и птиц
--	----------------------------------	----------------------------

Названия эр греческого происхождения: *катархей* — ниже древнейшего, *архей* — древнейший, *протерозой* — первичная жизнь, *палеозой* — древняя жизнь, *мезозой* — средняя жизнь, *кайнозой* — новая жизнь.

Никто точно не знает, когда именно возник первый живой организм. Возраст самых ранних достоверных следов жизни, найденных в древних отложениях земной коры, — около 4 млрд лет. Данные о развитии жизни на Земле помогает нам получить *палеонтология*. Однако данные эти далеко не полные. По степени своей геологической и палеонтологической изученности историю земной коры можно разделить на две неравные части. Относительно хорошо изучен поздний интервал геологического времени, охватывающий последние 570 млн лет. Сведения о более раннем (от 4600 до 570 млн лет назад) геологическом времени очень скудны. Это объясняется тем, что в большинстве случаев организмы того периода не имели твердого скелета и практически не оставили следов.

О жизни в архее мы судим в основном по наличию в эту эру пород органического происхождения — графита, известняка, мрамора и др. Считается, что они являются результатом жизнедеятельности бактерий, господствовавших в архее на нашей планете. В отложениях архея найдены остатки цианобактерий, способных к бескислородному фотосинтезу.

В результате жизнедеятельности организмов в атмосфере снижается содержание метана, аммиака, воды, происходит накопление CO_2 .

Предполагается, что в конце архея произошло разделение живых организмов на про- и эукариотические формы.

Эра. Период. Эпоха.

Катархей. Архей. Протерозой. Палеозой.

Мезозой. Кайнозой. Палеонтология.

?

1. На какие эры делится история Земли?
2. Как деятельность живых организмов повлияла на изменение состава атмосферы планеты?

3. Какое значение для развития жизни на Земле имело возникновение фотосинтеза?
4. Какие крупные ароморфозы произошли в архее?

8.6. Развитие жизни в протерозое и палеозое



-
1. В чем отличие низших растений от высших?
 2. В чем преимущества семенного размножения перед спорным?
 3. Почему рептилии более распространенная по сравнению с амфибиями группа животных?
-

Протерозой. В протерозое — эре ранней жизни — продолжалось усложнение организмов, совершенствовались способы питания и размножения.

Широкого распространения и многообразия достигали водоросли. Возникли формы многоклеточных водорослей, которые вели прикрепленный образ жизни и имели сложно дифференцированное слоевище, или таллом.

Среди животных возникло колоссальное разнообразие кишечнополостных и губок. К концу протерозойской эры появились все типы беспозвоночных, а также первые хордовые животные — подтип бесчерепных. В протерозойских отложениях находят остатки различных червей, моллюсков, примитивных членистоногих (рис. 92).

Крупнейшими ароморфозами протерозоя считаются появление животных с двусторонней симметрией тела и возникновение первых хордовых животных. Их единственным потомком, сохранившимся до наших дней, по-видимому, можно считать ланцетника.

Практически вся жизнь была сосредоточена в водной среде. Суша была безжизненна, лишь по берегам водоемов, в результате деятельности бактерий и других микроорганизмов, происходили процессы почвообразования.

Продолжалось накопление кислорода в атмосфере и обогащение кислородом вод, что способствовало появлению более высокоразвитых гетеротрофных организмов.

Палеозой. В палеозое — эре древней жизни — выделяют следующие периоды: кембрийский (*кембрий*), ордовикский (*ордовик*), силурийский (*силур*), девонский (*девон*), каменноугольный (*карбон*) и пермский (*перм*).

В начале палеозоя жизнь господствовала в основном в морях. На суше по-прежнему жили лишь бактерии и цианобактерии.

В морях кембрия господствовали многочисленные водоросли; среди животных появились беспозвоночные, покрытые твердым скелетом, который строился из карбоната и фосфата кальция, хитина и кремнезема. Животный мир был представлен в основном донными организмами, такими, как коралловые полипы, губки, черви, археоциаты, различные иглокожие и членистоногие. Наибольшего распространения достигли древнейшие членистоногие — *трилобиты*. Их тело было заключено в хитиновый панцирь, расчлененный на 40—50 сегментов. От каких-то перешедших к хищничеству трилобитообразных произошли ракоскорпионы. В позднем кембрии появляются головоногие моллюски (рис. 93).



Рис. 92. Флора и фауна позднего протерозоя:

- 1 — многоклеточные водоросли; 2 — губки; 3 — медузы;
- 4 — археоциаты — вымершие примитивные беспозвоночные;
- 5 — примитивное членистоногое



Рис. 93. Флора и фауна силура: 1 — водоросли; 2 — морские лилии; 3 — одиночные кораллы; 4 — трилобиты; 5 — головоногий моллюск; 6 — колония коралловых полипов

В ордовике произошло самое сильное в истории Земли затопление суши, в результате большая ее часть покрылась огромными болотами. В морях были распространены членистоногие и головоногие моллюски. Появились первые бесчелюстные позвоночные, отдаленными потомками которых являются современные миноги и миксины.

В силуре произошло два знаменательных события: выход растений и беспозвоночных на сушу. Первые наземные растения — риниофиты занимали промежуточное положение между водорослями и наземными сосудистыми растениями (рис. 94). Они уже имели проводящую систему, но дифференциации на органы у них еще не произошло. Дальнейшая эволюция растений на суше была направлена на дифференцировку таллома на органы и совершенствование полового размножения. Очевидно, в силуре появились грибы и первые лишайники.

В девоне широко распространились хвощи, плауны, папоротники. Наибольшего расцвета они достигли в каменноугольный период. Этому способствовал теплый и влажный

климат карбона (рис. 95). Возникшие голосеменные могли поселяться в более сухих местах, так как их размножение не зависело от наличия воды.

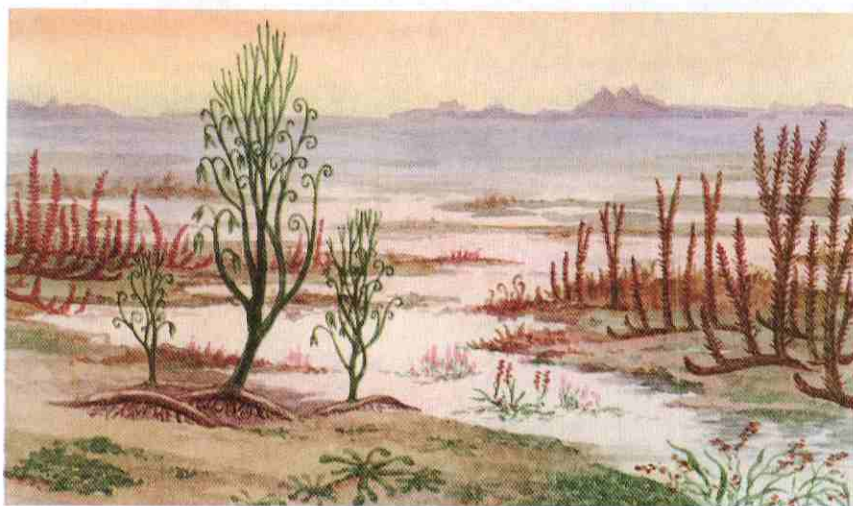


Рис. 94. Первые наземные растения

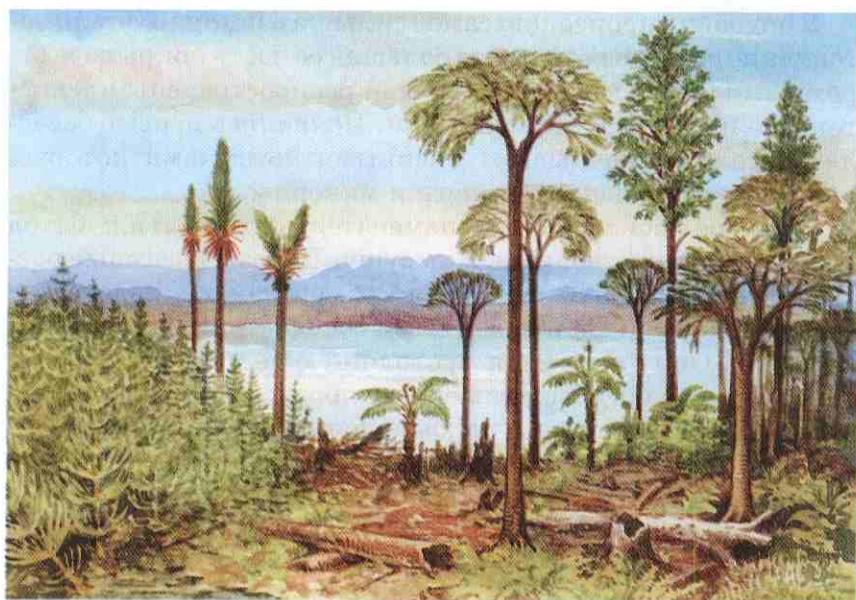


Рис. 95. Флора карбона

Первыми наземными беспозвоночными были многоножки и паукообразные. Они, очевидно, произошли от каких-то трилобитообразных.

В девоне появились примитивные челюстноротые рыбы. Они имели хрящевой скелет и были покрыты панцирем. От них произошли настоящие акулы и кистеперые рыбы.

От кистеперых, способных дышать атмосферным воздухом и переползать из водоема в водоем, используя плавники, произошли первые земноводные, или амфибии, — *ихтиостеги* и *стегоцефалы* (рис. 96).

В обширных болотных лесах карбона земноводные достигли своего наибольшего разнообразия. Появляются первые примитивные насекомые — тараканы, жесткокрылые, стрекозы. В карбоне возникли примитивные формы рептилий, которые заселяли более сухие места.

В пермский период климат стал суше и прохладнее. Это привело к вымиранию крупных папоротниковидных. Среди растений господствующее положение на суше заняли голосеменные.

В перми вымерли многие крупные морские моллюски, трилобиты, крупные рыбы, крупные насекомые и па-



Рис. 96. Первые амфибии

укообразные. Погибли и многие земноводные, с тех пор они уже никогда не были многочисленным классом животных. В то же время стали многочисленными и многообразными представители класса рептилий. Появились *терапсиды* — вероятные предки млекопитающих, объединявшие признаки амфибий, рептилий и млекопитающих.

*Кембрий. Ордовик. Силур. Девон. Карбон. Пермь.
Трилобиты. Риниофиты. Кистеперые рыбы.
Стегоцефалы. Ихтиостеги. Терапсиды.*

?

1. Какие ароморфозы произошли в протерозое и палеозое?
2. Какие условия способствовали выходу растений и животных на сушу?
3. Какие приспособления возникают у растений и животных в связи с выходом на сушу?
4. Чем объяснить процветание папоротникообразных в карбоне и их постепенное вымирание к концу палеозойской эры?

8.7. Развитие жизни в мезозое



1. Какие виды вымерших пресмыкающихся вам известны?
2. Какие преимущества имеют теплокровные животные перед холоднокровными?
3. Почему цветковые растения считаются более высокоорганизованной группой по сравнению с голосеменными?

Мезозой — эру средней жизни — справедливо называют эрой господства голосеменных растений и пресмыкающихся, завоевавших воду, сушу и воздух. В мезозойской эре выделяют *триасовый, юрский и меловой периоды*.

В триасе климат стал более сухим, сократилось количество водоемов. Это привело почти к полному вымиранию папоротникообразных и большинства земноводных. Их место заняли достигшие значительного расцвета голосеменные и пресмыкающиеся. Возникло большое разнообразие рептилий: черепахи, крокодилы, ихтиозавры, плезиозавры, динозавры. Последние в триасе были относительно невелики: длина тела крупных динозавров достигала 5—6 м, а мелкие были размером с курицу.

Появилось множество насекомых, в том числе летающих. В морях большое распространение получили аммониты, белемниты, кораллы, иглокожие.

В конце триаса возникли первые мелкие и примитивные представители теплокровных. В процессе естественного отбора у них сформировались такие признаки, как постоянная температура тела, кормление детенышей молоком, четырехкамерное сердце, дифференцировка зубов. Все эти признаки — ароморфозы, определившие появление нового класса животных — млекопитающих.

В юрский период динозавры достигли пика своего разнообразия и поистине стали властелинами планеты (рис. 97, 98, 99).

Самый крупный динозавр — крупнейшее из известных когда-либо живших наземных животных — брахиозавр достигал более 30 м в длину и имел массу до 50 т. У него были длинные хвост и шея, маленькая голова и громадное туловище. Большую часть времени он проводил в воде. Обладая пастью, почти лишенной зубов, брахиозавры питались мягкой прибрежной растительностью (см. рис. 97). Гигантских размеров достигали также растительноядные диплодоки и бронтозавры.

Среди хищных динозавров самым крупным и страшным был тираннозавр. Его высота составляла около 6 м, длина — 10 м, масса — 10 т. Передвигался он на двух задних ногах, опираясь при ходьбе на мощный хвост, передние конечности были короткими. Огромные челюсти тираннозавра были вооружены сотнями больших и острых зубов (см. рис. 98).

Весьма разнообразны были морские ящеры. Наиболее известны среди них ихтиозавры, похожие по строению тела на акул и дельфинов, и плезиозавры — животные с широким туловищем, длинными лапами и змеевидной шеей.

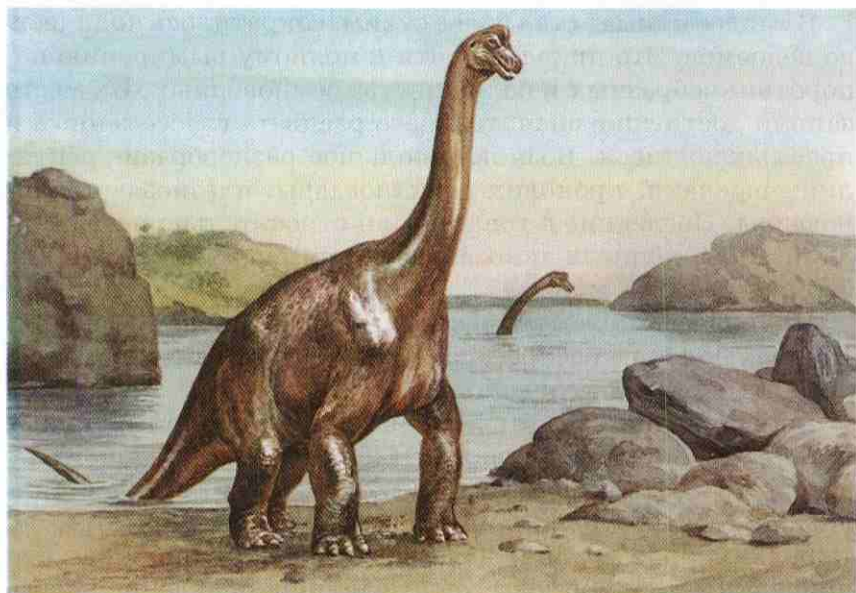


Рис. 97. Брахиозавр

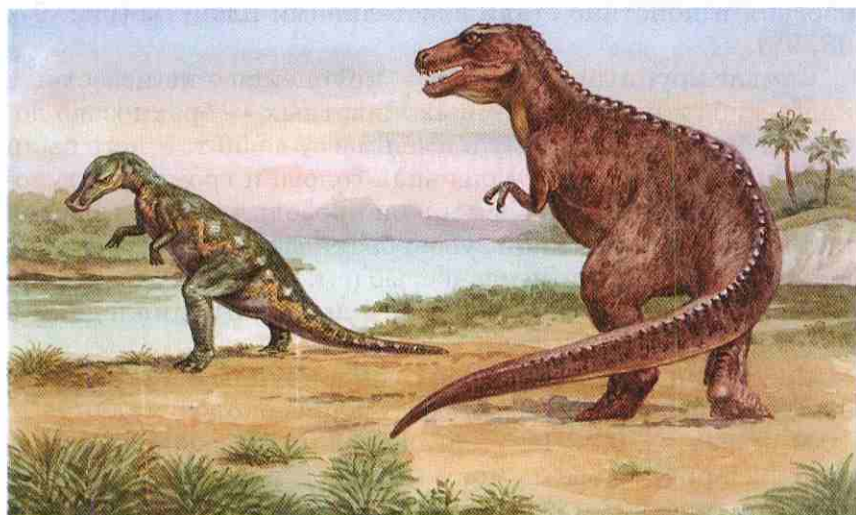


Рис. 98. Тираннозавр (справа)

К летающим ящерам относились как крохи размером с воробья, так и гиганты с размахом крыльев до 15 м (рис. 100).

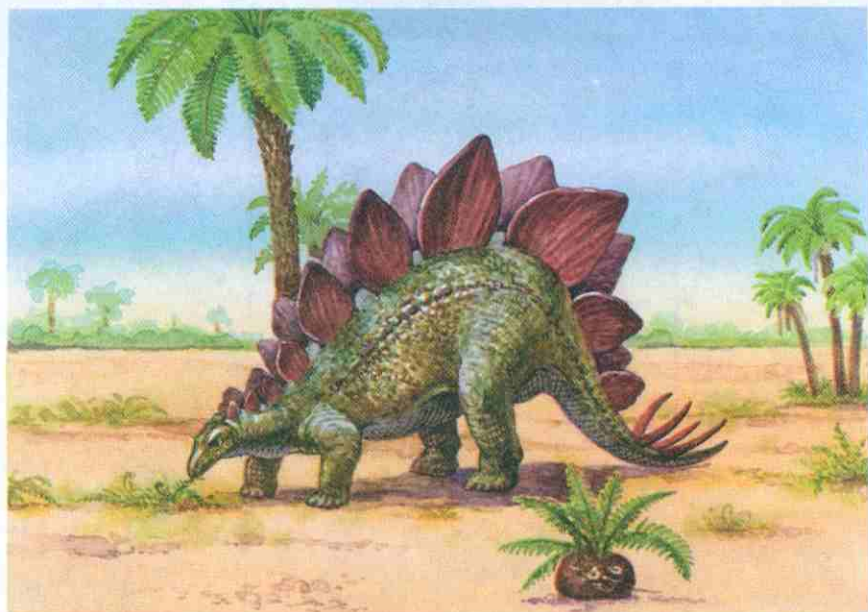


Рис. 99. Стегозавр

В юрский период появились первые птицы, во многом сходные с рептилиями.

В меловой период возникли и быстро распространились покрытосеменные растения, вытесняя голосеменные.

Птицы мела еще сохраняли зубы, но в остальном практически не отличались от современных.

В середине мелового периода появились сумчатые и плацентарные млекопитающие.

В конце мелового периода произошло массовое вымирание многих видов животных. В морях вымерли аммониты и белемниты, а также морские ящеры. На суше исчезли многие виды, в том числе и динозавры. Из пресмыкающихся лишь в экваториальных областях сохранились крупные представители — крокодилы, черепахи и гаттерии. Большинство выживших пресмыкающихся (змеи, ящерицы) были небольших размеров.

Быстрое массовое вымирание многих видов в конце мелового периода трудно объяснить. Большинство ученых связывают это с изменением климата. В условиях общего похо-

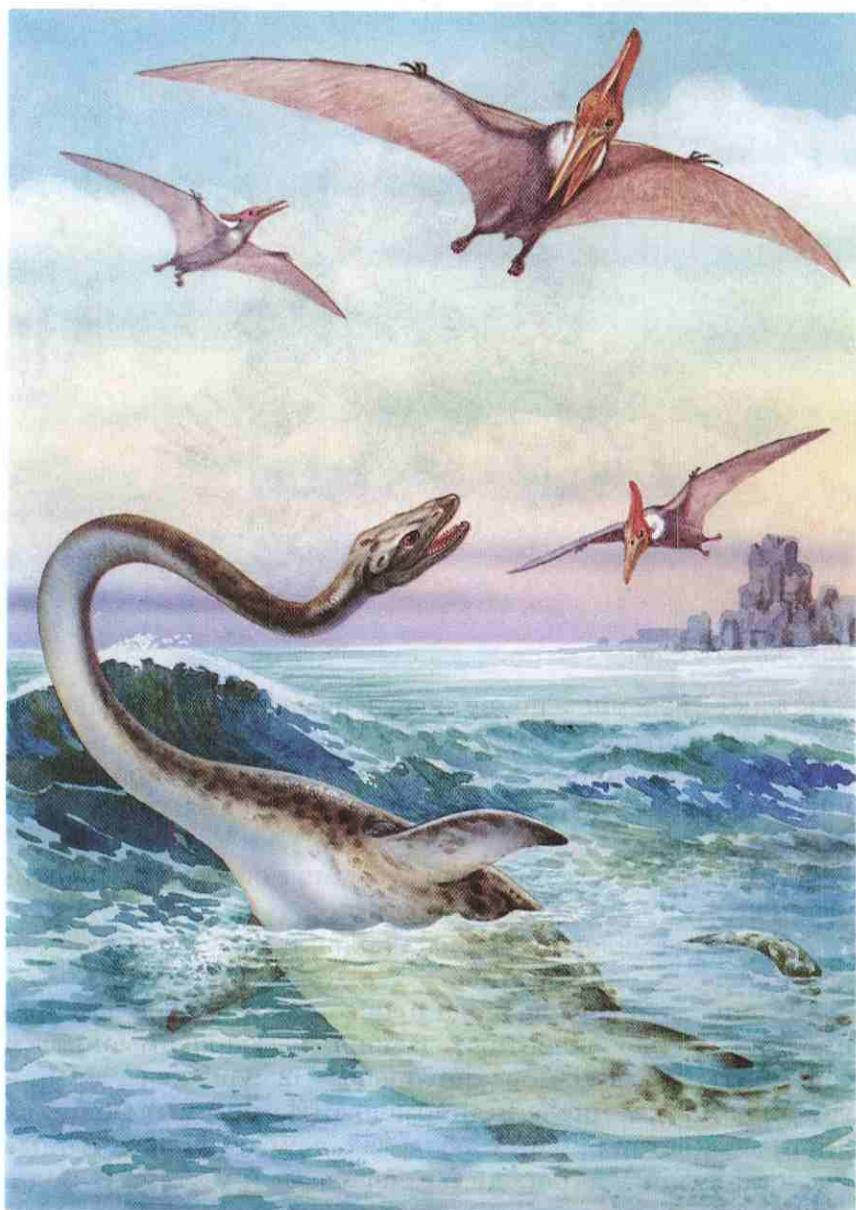


Рис. 100. Морские и летающие ящеры

лодания преимущества получили теплокровные — птицы и млекопитающие, расцвет которых пришелся на следующую, кайнозойскую, эру.



1. Какие ароморфозы произошли в мезозое?
2. Какие частные приспособления (идиоадаптации) обеспечили заселение древними пресмыкающимися различных сред обитания?
3. Что способствовало быстрому распространению покрытосеменных?

8.8. Развитие жизни в кайнозое



1. В чем отличие сумчатых млекопитающих от плацентарных?
2. Какие факторы оказали влияние на эволюцию человека?
3. В чем существенное отличие человека разумного от других видов животных?

Кайнозой — эра новой жизни. Она началась 67 млн лет назад и продолжается до настоящего времени. В кайнозойской эре выделяют следующие периоды: *палеоген*, *неоген* и *антропоген*. Мы живем в антропогене, который длится около 2,5 млн лет.

Кайнозойская эра — время расцвета покрытосеменных растений, насекомых и высших позвоночных животных: птиц и млекопитающих.

В палеогене климат был ровным, тропическим. Практически вся Европа была покрыта вечнозелеными тропическими лесами, и лишь в северных областях произрастали листопадные виды. В это время уже сформировались практически все основные группы цветковых растений.

Млекопитающие заняли господствующее положение, приспособившись к различным условиям жизни на суше, в воздухе и в воде, они как бы заменили мезозойских пресмыкающихся.

Сумчатые и плацентарные млекопитающие развивались параллельно. От каких-то групп плацентарных насекомоядных произошли хищники и примитивные копытные.



Рис. 101. Мамонты



Рис. 102. Саблезубый тигр охотится на копытных

В неогене появились хоботные, парно- и непарнокопытные, все группы современных хищников и китообразные. От разных групп насекомоядных независимо произошли рукокрылые, приматы, грызуны и другие отряды млекопитающих. Чрезвычайно разнообразным и многочисленным стал мир птиц и костистых рыб.

В результате похолодания теплолюбивые растения отступили к экватору, а их место заняли более холодостойкие листопадные виды. По мере того как климат становился все более сухим, леса уступали место открытым пространствам, покрытым травянистыми растениями.

В середине неогена широко распространились общие предковые формы человекообразных обезьян и людей. В связи с процессом сокращения лесов некоторые группы древних обезьян спустились с деревьев на землю и стали завоевывать открытые пространства. Они и были предками человека.

В антропогене произошло мощное похолодание. Территории Евразии и Северной Америки четырежды подвергались мощным оледенениям. Последний ледниковый период закончился около 10 тыс. лет назад.

Распространялись растения и животные, приспособленные к холодному климату. Среди животных этого периода наиболее известны мамонты, шерстистые носороги, пещерные медведи, саблезубые тигры, бизоны, овцебыки и многие



Рис. 103.
Большерогий олень

другие (рис. 101, 102). Вымирание крупных млекопитающих антропогена иногда связывают с деятельностью древних охотников. Они истребили мамонтов, шерстистых носорогов, большерогих торфяных оленей и др. (рис. 103). Исчезновение многих хищников объясняют тем, что человек уничтожил крупных копытных, которыми они питались.

Около 10 тыс. лет назад человек от собирательства и охоты перешел к земледелию и скотоводству. С этого времени основные изменения, происходящие в биосфере, так или иначе связаны с хозяйственной деятельностью человека.

Палеоген. Неоген. Антропоген.

?

1. Какие изменения в животном и растительном мире произошли в палеогене?
2. Какие наиболее важные события в эволюции организмов произошли в неогене?
3. Как воздействовал древний человек на окружающую природу?
4. Какие факторы оказывают наибольшее влияние на эволюцию ныне живущих организмов?

Краткое содержание главы

Вопрос о возникновении и развитии жизни на нашей планете интересовал человека с самых древних времен. Различные представления о возникновении жизни можно объединить в пять гипотез:

- 1) креационизм — Божественное сотворение живого;
- 2) самопроизвольное зарождение — живые организмы возникают самопроизвольно из неживого;
- 3) гипотеза стационарного состояния — жизнь существовала всегда;
- 4) гипотеза панспермии — жизнь занесена на нашу планету извне;
- 5) гипотеза биохимической эволюции — жизнь возникла в результате процессов, подчиняющихся химическим и физическим законам.

В настоящее время большинство ученых поддерживают идею абиогенного зарождения жизни в процессе биохимической эволюции.

Жизнь, прежде чем она достигла современного многообразия, прошла длительный путь, в котором различают три этапа: химической, предбиологической и биологической эволюции.

Земля как планета существует более 5 млрд лет. Ее история разделяется на длительные промежутки времени — эры (катархейская, архейская, протерозойская, палеозойская, мезозойская и кайнозойская). Эры подразделяются на периоды, периоды — на эпохи.

Биологическая эволюция продолжается на Земле уже около 4 млрд лет. За это время появилось бесчисленное множество форм живых организмов — от прокариот до человека.

3. ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Живущие на Земле организмы очень разнообразны. Среди растений мы можем встретить микроскопические водоросли, жизнь которых очень коротка, мелкие однолетние цветковые, более крупные многолетние цветковые растения, гигантские древние секвойи. Мельчайшие ракообразные, населяющие толщу воды, медузы, морские звезды, двустворчатые моллюски, жуки, ящерицы, лягушки, воробьи, ястребы, волки, олени, буйволы, киты — вот далеко не полный перечень разнообразных представителей животного мира.

Несмотря на громадные различия в строении, образе жизни, особенностях физиологии живых организмов, всех их объединяет одно: они реагируют на изменения внешних факторов.

Содержание раздела познакомит вас лишь с некоторыми проблемами современной экологии, поскольку область ее интересов чрезвычайно широка. Экология тесно связана с другими отраслями биологии. Ее основным предметом является также изучение таких форм существования биологического мира, которые могут быть названы надорганизменными, т. е. популяций, сообществ, биогеоценозов и, наконец, биосферы. Поэтому к экологическим знаниям в равной мере можно отнести знания, полученные вами при изучении глав 4, 5 и 6 данного учебника.

9 Организм и среда



Из этой главы вы узнаете:

- *что такое экологические условия и экологические ресурсы, в чем сходство и различие между этими понятиями;*
 - *как проявляется приспособленность организмов к среде обитания;*
 - *что такое биотические взаимоотношения и какую роль они играют в жизни видов;*
 - *с какими факторами связаны колебания численности организмов и как осуществляется экологическая регуляция в природе.*
-

9.1. Экологические факторы. Условия среды



1. Почему многие виды животных и растений не встречаются повсеместно?
2. Какие факторы, кроме природных, могут оказывать влияние на область распространения и численность организмов?

Экологическими факторами называют любые внешние факторы, оказывающие прямое или опосредованное влияние на численность (обилие) и географическое распространение животных и растений.

Экологические факторы очень многообразны как по своей природе, так и по воздействию на живые организмы. Условно совокупность всех действующих на организм факторов подразделяют на три большие группы — абиотические, биотические и антропогенные.

Абиотические факторы — это факторы неживой природы, прежде всего климатические (солнечный свет, температура, влажность воздуха) и местные (рельеф, свойства почвы, соленость, течения, ветер, радиация и т. п.). Эти факторы могут влиять на организм прямо, или непосредственно, как свет и тепло, либо косвенно, как, например, рельеф, который обуславливает действие прямых факторов — освещенности, увлажнения, ветра и пр.

Биотические факторы — это всевозможные формы влияния живых организмов друг на друга: опыление насекомыми растений, поедание одних организмов другими, конкуренция между ними за те или иные виды ресурсов (пищу, пространство, свет и т. д.), паразитизм и многое другое.

Антропогенные факторы — это те формы деятельности человека, которые, воздействуя на окружающую среду, изменяют условия обитания живых организмов или непосредственно влияют на отдельные виды растений и животных. Одним из наиболее важных антропогенных факторов является загрязнение.

Условиями среды, или экологическими условиями, называют изменяющиеся во времени и пространстве абиотические факторы среды, на которые организмы реагируют по-разному в зависимости от их силы.

Условия среды налагают на организмы определенные ограничения. От количества света, проникающего через толщу воды, зависит жизнь зеленых растений в водоемах, от наличия кислорода зависит существование воздуходышащих животных, температура определяет активность и контролирует размножение многих организмов.

К наиболее важным факторам, определяющим условия существования организмов практически во всех средах жизни, относятся температура, влажность и свет.

Температура. Любой вид организмов способен жить только в пределах определенного интервала температур, внутри которого температурные условия наиболее благоприятны для его существования, а его жизненные функции осуществляются наиболее активно. По мере приближения к границам температурного интервала скорость жизненных процессов замедляется, а за его пределами они и вовсе прекращаются — организм погибает.

Пределы температурной выносливости у разных организмов различны. Некоторые виды способны выносить значительные колебания температуры. Например, лишайники и многие бактерии могут жить при самой различной температуре. Среди животных наибольший диапазон температур выдерживают теплокровные. Тигр, например, одинаково хорошо переносит как сибирский холод, так и жару тропических областей Индии или Малайского архипелага.

В наземно-воздушной и даже в водной среде температура не остается постоянной и может сильно варьировать в зависимости от сезона года или времени суток. В тропиках суточные колебания температуры могут быть выражены сильнее, чем сезонные. И наоборот, в умеренных областях температура значительно различается в разные времена года.

Влажность. На протяжении большей части своей истории живая природа была представлена исключительно водными организмами. Завоевав сушу, они тем не менее не утратили зависимости от воды. Вода — составная часть каждого жи-

вого организма, она необходима для его нормального функционирования.

Растения извлекают нужную им воду из почвы при помощи корней. Лишайники могут улавливать водяной пар из воздуха. Все сухопутные животные для компенсации неизбежной потери воды за счет испарения или выделения нуждаются в ее периодическом поступлении. Многие из них пьют воду, другие, например амфибии, некоторые насекомые и клещи, всасывают ее через покровы тела в жидком или паробразном состоянии. Есть животные, получающие воду довольно сложным путем — в процессе окисления жиров. Это, например, верблюд и некоторые виды насекомых — рисовый и амбарный долгоносики, платяная моль, питающиеся жиром. У животных, как и у растений, имеется множество приспособлений для экономии воды.

Свет. Свет Солнца служит практически единственным источником энергии для живой природы.

Непосредственного влияния на животных, по сравнению с температурой или влажностью, свет почти не оказывает. Он служит лишь сигналом к перестройке протекающих в организме процессов, что позволяет им наилучшим образом отвечать на происходящие изменения внешних условий.

У многих животных условия освещенности вызывают положительную или отрицательную реакцию на свет. Некоторые насекомые (ночные бабочки) слетаются на свет, другие (тараканы) избегают его. Наибольшее экологическое значение имеет смена дня и ночи. Многие животные ведут исключительно дневной образ жизни (большинство птиц), другие — исключительно ночной (многие мелкие грызуны, летучие мыши и др.). Мелкие рачки, парящие в толще воды, держатся ночью в поверхностных водах, а днем опускаются на глубину, избегая слишком яркого света.

Вторичные климатические факторы — ветер, атмосферное давление, высота над уровнем моря и др. — также имеют важное значение. Ветер обладает косвенным действием: усиливая испарение, он обезвоживает организм; сильный ветер способствует также охлаждению. Это оказывается важным в холодных местах, на высокогорьях или в полярных областях.

Антропогенные факторы. Загрязняющие вещества. Антропогенные факторы весьма разнообразны. Человек воздействует на живую природу, прокладывая дороги, строя города, занимаясь сельским хозяйством, перегораживая реки и т. д. Деятельность человека все чаще сопровождается загрязнением окружающей среды побочными, часто ядовитыми продуктами. Диоксид серы, летящий из труб заводов и электростанций, соединения металлов (меди, цинка, свинца), сбрасываемые возле рудников или содержащиеся в выхлопных газах автомашин, остатки нефтепродуктов, оказывающиеся в водоемах после промывки танков нефтеналивных судов, — вот лишь некоторые из загрязняющих веществ, ограничивающих распространение организмов, особенно растений.

Многие загрязняющие вещества действуют как яды, приводя к вымиранию целых видов растений или животных. Другие могут передаваться по цепям питания, накапливаться в телах организмов, вызывать генные мутации, значение которых можно будет оценить лишь в будущем. Как правило, загрязнение природы приводит к снижению видового разнообразия и нарушению устойчивости биоценозов.

Абиотические, биотические, антропогенные факторы. Экологические условия. Температура. Влажность. Свет. Вторичные климатические факторы. Загрязняющие вещества.

?

1. Дайте определение понятия «экологические факторы». Составьте классификацию экологических факторов, приведите примеры.
2. Какое влияние оказывает температура на различные виды организмов?
3. Как животные и растения получают необходимую им воду?
4. Как организмы реагируют на разную освещенность?
5. Как действуют на организмы загрязняющие вещества?

9.2. Общие закономерности влияния экологических факторов на организмы



1. Почему слоны не встречаются на берегу Ледовитого океана, а белые медведи — в тропиках?
2. Почему в оранжереях необходимо поддерживать определенную температуру и влажность?

Вы уже знаете, что любой организм может существовать лишь в определенном температурном интервале. Если температура среды слишком низка или слишком высока, он погибает. Там, где температура близка к крайним значениям, представители данного вида встречаются редко, но по мере того как температура приближается к среднему значению, оптимальному для них, их число увеличивается.

Данная закономерность справедлива для любого другого фактора, влияющего на течение тех или иных жизненных процессов (влажность, сила ветра, скорость течения и т. д.).

Если нарисовать на графике кривую, характеризующую скорость того или иного процесса (дыхания, движения, питания и др.) в зависимости от одного из факторов внешней среды (конечно, при условии, что этот фактор оказывает влияние на основные жизненные процессы), то эта кривая почти всегда будет иметь форму колокола (рис. 104).

Кривые, подобные изображенной на этом рисунке, называют *кривыми толерантности* (от лат. *tolerantia* — терпение). Положение их вершины указывает на условия, оптимальные для данного процесса.

Для некоторых видов характерны кривые с очень острыми пиками; это означает, что диапазон оптимальных для них условий очень узок. Плавные кривые соответствуют широкому диапазону толерантности, т. е. устойчивости к данному фактору.

Организмы с широкими границами устойчивости ко многим факторам, конечно, имеют шансы на более широкое распространение.

У широко распространенных видов популяции, обитающие в климатически разных зонах, часто оказываются наилучшим образом приспособленными именно к условиям данной местности. Это связано с их способностью образовывать локальные формы, или *экотипы*, характеризующиеся различными границами стойкости к температуре, свету или другим факторам.

Рассмотрим в качестве примера экотипы одного из видов медуз. Как вы знаете, медузы передвигаются в воде подобно ракете — при помощи ритмических сокращений мышц, выталкивающих воду из центральной полости. Оптимальная скорость пульсации — 15—20 сокращений в минуту. Особи одного из видов медуз, обитающего в северных широтах, передвигаются с такой же скоростью, как и медузы того же вида в южных широтах, хотя температура воды на севере может быть на 20 °С ниже. Это означает, что и та и другая формы медуз смогли наилучшим образом приспособиться к местным условиям.

Закон минимума. Интенсивность тех или иных биологических процессов часто оказывается чувствительной к двум или большему числу факторов окружающей среды. В этом случае решающее значение будет принадлежать тому из них, который имеется в минимальном с точки зрения потребностей организма количестве. Это простое правило было сформулировано основоположником науки о минеральных удобрениях немецким химиком и агрохимиком *Юстусом Либихом*.



Рис. 104. Кривая толерантности

хом (1803—1873) и получило название *закона минимума*. Ю. Либих обнаружил, что урожай растений может ограничиваться одним — любым — из основных элементов питания, если только этого элемента не хватает в почве.

Известно, что разные факторы среды могут взаимодействовать, т. е. нехватка одного вещества может приводить к дефициту в других веществах. Например, недостаток влаги в почве ограничивает поступление в растения всех остальных веществ, необходимых для их питания. Поэтому в целом закон минимума можно сформулировать следующим образом: успешное выживание живых организмов зависит от комплекса условий; ограничивающим, или лимитирующим, фактором является любое состояние среды, приближающееся или выходящее за границу устойчивости для организмов данного вида.

Толерантность. Экопилы.

Лимитирующие факторы. Закон минимума.

?

1. Что такое толерантность организмов?
2. Какие факторы называют лимитирующими?
3. Что такое закон минимума?

9.3. Экологические ресурсы



1. В чем различия между типами питания растений и животных? Какие виды питательных веществ вам известны?
2. Почему происходит истощение почвы?

Ресурсами называют вещества и энергию, вовлекаемые организмами в процессы их жизнедеятельности. За этим понятием стоят количества; ресурс (в отличие от условий) может расходоваться и исчерпываться. Ресурс живых существ — это в основном вещества, идущие на построение их тел, и энергия, необходимая для их жизнедеятельности. Иногда к ресурсам относят и пространство, если

обладание этим пространством необходимо для жизни организмов.

Тело зеленого растения создается из молекул неорганических веществ. Эти вещества представляют собой *пищевой ресурс* зеленого растения. Для построения своего тела растению требуется энергия, которая черпается от солнечного излучения при фотосинтезе. Солнечное излучение — это *энергетический ресурс*. Сами зеленые растения являются пищевыми ресурсами для травоядных животных, которые, в свою очередь, служат пищевыми ресурсами для хищников, паразитов, а после смерти — для микроорганизмов, использующих запасенную в трупах энергию и вещество.

Из сказанного видно, что один и тот же фактор (солнечное излучение) может рассматриваться и как условие, и как ресурс.

Солнечное излучение как энергетический ресурс. В природе для зеленых растений единственным источником энергии, которую они могут использовать в процессах жизнедеятельности, служит солнечное излучение. Этот поток лучистой энергии, достигающий растения, может быть прямым, отраженным от других предметов или прошедшим сквозь них.

Когда на пути потока лучистой энергии оказывается лист растения, поток может быть частично отражен, пропущен и поглощен. Часть поглощенной энергии может достичь хлоропластов, содержащих зеленый пигмент — хлорофилл, и участвовать в процессе фотосинтеза.

Концентрация углекислого газа в атмосфере держится на постоянном уровне — 0,03% и существенно не влияет на скорость фотосинтеза. Два других необходимых для фотосинтеза фактора — вода и солнечная энергия — могут значительно изменяться в зависимости от географического положения.

Если лучистая энергия при попадании на лист в тот же миг не улавливается, она утрачивается безвозвратно. Энергия излучения, преобразованная в процессе фотосинтеза в химическую энергию соединений углерода (глюкозы), проделывает свой земной путь лишь однажды — в отличие от атомов углерода и молекул воды, которые циркулируют через бесчисленные поколения живых существ.

Пищевые ресурсы. Помимо лучистой энергии в процесс фотосинтеза вовлекаются диоксид углерода и вода, вступающие между собой в сложные взаимодействия.

Важным видом пищевых ресурсов для растений являются элементы минерального питания, которые извлекаются из почвы (если растение наземное) или из воды (если водное). К ним относятся азот, фосфор, сера, кальций, магний, железо и др. Перечисленные элементы, разумеется, необходимы и животным, но они чаще всего получают их в составе разнообразной органической пищи — растительной или животной.

*Экологические ресурсы. Энергетический ресурс.
Пищевой ресурс.*

?

1. В чем состоят отличия между понятиями «условия» и «ресурсы»?
2. Перечислите известные вам виды ресурсов животных и растений.
3. Может ли тот или иной вид ресурса являться лимитирующим фактором?
4. Перечислите животных со сходными видами пищевых ресурсов.

9.4. Адаптация организмов к различным условиям существования



1. Как приспособляются растения к жизни в суровых условиях?
2. Чем отличаются водные млекопитающие от наземных?

Зависимость строения и образа жизни организмов от среды обитания. Разные организмы распределены по различным местообитаниям отнюдь не беспорядочно: между ними и средой имеется соответствие. Оно проявляется в

сходстве строения и образа жизни организмов, обитающих в сходных условиях, но принадлежащих к различным ветвям эволюционного древа: между ними отсутствует родственная связь, которой можно было бы объяснить возникновение общих признаков или свойств. Экологическое положение организмов как бы запечатлевается в них самих.

Изменения внешнего строения организмов — наиболее яркий пример адаптаций к условиям жизни. Как вам уже известно, разные виды, ведущие сходный образ жизни и занимающие сходное положение в структуре природных сообществ, имеют близкие типы строения и объединяются в группы, называемые *жизненными формами* (рис. 105).

Сходные жизненные формы могут возникать у систематически очень далеких друг от друга видов: тушканчиков



Рис. 105. Жизненные формы животных

и кенгуру, дельфинов и рыб, птиц и летучих мышей, червей и змей и т. д.

Компактное тело, короткий хвост, короткие конечности (причем передние очень мощные и похожие на лопату), подслеповатые глаза и короткий, словно подстриженный, мех говорят о том, что перед нами подземный зверек, ведущий роющий образ жизни. Это может быть лесной крот, степной слепыш, австралийский сумчатый крот или другое млекопитающее, ведущее сходный образ жизни.

Роющие насекомые — медведки также имеют компактное тело, мощные передние конечности и по внешнему виду напоминают маленького крота.

Сходство между этими далекими друг от друга животными затрагивает преимущественно те органы, которые непосредственно контактируют с внешней средой, и гораздо слабее проявляется в строении внутренних систем.

Ритмы жизни. Важную роль в поддержании соответствия между организмами и средой играют не только морфологические особенности, но и физиологические и поведенческие реакции. Со временем любые экологические условия изменяются. Эти изменения могут иметь различный характер: быть *циклическими*, т. е. повторяющимися через более или менее равные промежутки времени, *направленными*, т. е. изменяющимися лишь в определенную сторону, или *хаотическими*, т. е. неопределенными, плохо предсказуемыми. Ни строение организма, ни его поведение не могут соответствовать внешним условиям, не изменяясь при этом вместе с ними.

Смена времен года является периодически повторяющимся, циклическим изменением, так же как и чередование темного и светлого времени суток, прилива и отлива. Многократное воздействие циклических изменений привело к возникновению у организмов характерных физиологических ритмов, которые сами по себе также являются циклическими. Таковы, например, ежегодное сбрасывание листвы листопадными деревьями, приливно-отливный ритм перемещения животных, обитающих в зоне прилива (например, крабов), сезонные линьки млекопитающих.

Способность организмов к циклическим изменениям (образа жизни, скорости физиологических процессов, осо-

бенностей внешнего и внутреннего строения) также возникла в процессе эволюции путем естественного отбора. Живые организмы, конечно, не способны предвидеть будущие изменения. Их образ жизни лишь отражает историю жизни многих предшествующих поколений, в ходе которой произошло закрепление таких свойств организмов, которые наилучшим образом отвечают условиям их существования.

Способ переживания организмом циклических изменений в окружающей среде зависит от продолжительности его жизни. Жизнь одноклеточных водорослей, подобных хлорелле, может продолжаться всего лишь один день и одну ночь. Жизнь дуба, слона, кита или человека вмещает многократную смену времен года, а с ними — чередование голодовок и, наоборот, изобилия пищи, суровых испытаний и полного благополучия.

Короткая продолжительность жизни способствует высокой специализации организмов, т. е. их приспособленности к строго определенным условиям. Так, некоторые насекомые (например, майский жук) вылетают из куколок лишь после появления листьев или цветков на растениях определенных видов. Все остальное время года они проводят глубоко в почве, где сезонные изменения незаметны.

Многие виды птиц, млекопитающих, рыб сохраняют активность в течение всего года. Они менее специализированы и обладают рядом свойств, позволяющих им справляться с трудностями, возникающими при сезонных или иных изменениях условий жизни. Мелкие млекопитающие, например полевки, лесные мыши, зимуют, впадая в спячку и прячась в укромных местах. Другие поступают иначе: у животных, обитающих в условиях суровой зимы, к наступлению холодов мех становится гуще и длиннее. В ряде случаев меняется и его окраска, как это происходит, например, у зайца-беляка. Такие приспособления помогают животным не только уберечься от холода, но и маскироваться от врагов.

Из всех сезонных изменений образа жизни наиболее замечательны те, что связаны с миграциями — массовыми переселениями в иные климатические области. Это, например, ежегодные перелеты птиц, миграции северных оленей и т. д.

Растениям и прикрепленным животным этого, конечно, не дано, зато именно у них наиболее ярко проявляются сезонные изменения строения. Некоторые растения, живущие в засушливых районах, образуют в течение одного года три поколения листьев, причем листья каждого из поколений отличаются характерными особенностями строения: во время влажного сезона образуются сравнительно крупные листья, в более засушливый сезон они опадают, а на смену им приходят мелкие листья или чешуйки; иногда исчезает и такая листва, и в самое засушливое время на зеленом стебле растения остаются лишь колючки.

В различных участках обитания на фоне сезонных изменений внешних условий могут происходить их разнонаправленные, случайные колебания, влияющие на жизнедеятельность организмов. Как правило, таким изменениям наиболее подвержены климатические условия. Большинство организмов могут сравнительно легко переносить колебания условий жизни, не выходящие за рамки привычных и случающихся в районах, которые давно освоены данным видом.

Чрезвычайно суровые условия (очень холодные зимы, длительные засухи и т. п.) могут приводить к гибели части особей. В этих случаях в преимущественном положении оказываются те группы организмов, которые обладают более широкими границами распространения и более высокой скоростью размножения.

*Жизненные формы.
Морфологические приспособления.
Ритмы жизни.*

?

1. Что указывает на соответствие между организмами и средой их обитания?
2. В чем состоят отличия в способах переживания циклических изменений внешней среды жизни у организмов с разной продолжительностью жизни?
3. Какое значение в природе имеют жизненные формы растений и животных?

9.5. Межвидовые отношения организмов



1. Какую роль в природе играют хищники?
2. Приведите примеры взаимовыгодных отношений между животными и растениями.

В природе каждый живой организм живет не изолированно. Его окружает множество других представителей живой природы. Все они взаимодействуют друг с другом в пределах сообщества. Это взаимодействие происходит прямо или опосредованно, через промежуточные звенья. Всевозможные формы влияния организмов друг на друга представляют собой совокупность биотических факторов.

Биотические взаимоотношения чрезвычайно сложны и по-разному протекают в различных условиях. Это делает их труднопредсказуемыми.

Типы биотических взаимоотношений. Все биотические связи можно разделить на шесть типов.

1) Если два вида не влияют друг на друга, то имеет место *нейтрализм* (00). В природе истинный нейтрализм очень редок, поскольку между всеми видами возможны опосредованные взаимодействия, эффекта которых мы не видим просто в силу неполноты наших знаний.

2) Для одного из совместно обитающих видов влияние другого отрицательно, в то время как угнетающий не получает ни вреда, ни пользы — это *аменсализм* (-0). Пример аменсализма: светолюбивые травы, растущие под елью, страдают от сильного затенения, ель же не испытывает никакого неудобства.

3) Форма взаимоотношений, при которой один вид получает какое-либо преимущество, не принося другому ни вреда, ни пользы, называется *комменсализмом* (+0). Например, крупные млекопитающие (собаки, олени) служат разносчиками плодов и семян с зацепками (вроде репейника), не получая от этого ни ущерба, ни преимуществ.

4) В природе часто встречаются взаимовыгодные связи между видами организмов, при которых они получают обо-

юдную пользу, — это многообразные *симбиотические взаимоотношения* (++)).

Обязательное условие симбиотических отношений — совместная жизнь, определенная степень сожительства организмов.

Классическим примером симбиоза являются лишайники, представляющие собой тесное взаимовыгодное сожительство грибов и водорослей. Другой пример симбиоза — взаимоотношения термитов и их кишечных сожителей — жгутиковых. Эти простейшие производят фермент, разлагающий клетчатку на сахарá. Термиты не имеют собственных ферментов для переваривания целлюлозы и без симбионтов погибли бы. А жгутиковые, в свою очередь, находят в кишечнике благоприятные условия, способствующие их выживанию. В свободном состоянии в природе они не встречаются. Широко известный пример симбиоза — сожительство зеленых растений (прежде всего деревьев) и грибов.

Одним из типов взаимополезных связей является *протокооперация* (буквально: первичное сотрудничество) (++)). В этом случае совместное существование выгодно для обоих видов, но не обязательно для них, т. е. не является непременным условием их выживания. Примером служит распространение муравьями семян некоторых растений леса, опыление пчелами разных луговых растений.

Более тесные взаимовыгодные отношения, при которых присутствие каждого из двух видов становится для другого обязательным, называется *мутуализмом* (++)). Таковы, например, взаимоотношения узко специализированных к опылению растений (инжир, купальница, дурман, орхидные) с опыляющими их видами насекомых.

5) Если два и более вида обладают сходными экологическими требованиями и обитают совместно, между ними может возникнуть *конкуренция*, от которой страдают оба вида (— —).

6) *Хищничество* (+—) — такой тип взаимоотношений организмов, при котором представители одного вида убивают и поедают представителей другого. Это одна из форм пищевых отношений.

Паразитизм (+—) — это форма биотических отношений, при которых организмы одного вида (паразита) живут за счет питательных веществ или тканей организма другого ви-

да (хозяина). Паразитизм близок к хищничеству, однако в отличие от настоящего хищника паразит не убивает хозяина сразу. Кроме того, обычно он использует живого хозяина и как место своего временного или постоянного проживания. Паразит изнуряет, но не губит хозяина, поскольку тот обеспечивает его существование. Таким образом, паразитизм можно рассматривать как ослабленную форму хищничества.

*Нейтрализм. Аменсализм. Комменсализм.
Симбиоз. Протокооперация. Мутуализм.
Конкуренция. Хищничество. Паразитизм.*

?

1. Какие примеры положительных и отрицательных взаимоотношений вам известны?
2. Что представляют собой лишайники с точки зрения взаимоотношений организмов?
3. Какова главная особенность симбиоза?

9.6. Колебания численности организмов. Экологическая регуляция



1. Какие экологические факторы вам известны?
2. Какие факторы могут приводить к колебаниям численности популяций?

Все живое на Земле изменяется. Изменения лежат в основе эволюции организмов, в основе развития всех без исключения экологических систем.

К числу наиболее важных экологических процессов относится *динамика популяций*, т. е. изменения численности составляющих их организмов.

Популяции не смогли бы существовать в меняющихся условиях внешней среды, не изменяясь вместе с ними. Популяционные изменения — это сложный процесс, обеспечи-

вающий устойчивость популяций, наиболее эффективное использование организмами экологических ресурсов, наконец, изменения свойств самих организмов в соответствии с меняющимися условиями их жизни.

Рассмотрим механизмы изменений численности популяций.

Каждую популяцию растений или животных можно охарактеризовать скоростью размножения, или *рождаемостью*. Рождаемость выражается числом или долей особей (яиц, семян), родившихся (вылупившихся, отложенных) в популяции за единицу времени. Рождаемость определяется свойствами как организмов (например, плодовитостью самок), так и их популяций (составом, обилием и др.).

В любой природной популяции число нарождающихся особей всегда превышает число их родителей. В этом легко убедиться, вспомнив, сколько семян дает одно растение или сколько детенышей производят на свет, например, кошка, волчица, скворчиха, лягушка или рыба. Благодаря рождаемости численность популяции стремится к неограниченному росту.

Однако далеко не все особи новых выводков могут дожить до зрелого возраста и оставить потомство. Часть из них отмирает. Скорость отмирания организмов называется *смертностью* и выражается числом или долей особей, погибающих за единицу времени. Смертность ограничивает рост численности популяции.

И рождаемость и смертность постоянно изменяются в зависимости от множества факторов. Когда рождаемость превышает смертность, численность популяции возрастает, и наоборот: численность снижается, когда смертность становится выше рождаемости. Постоянные изменения условий жизни организмов приводят к усилению то одного, то другого процесса. В результате численность популяций колеблется.

Способность к изменениям позволяет популяциям постоянно приспосабливаться к меняющимся условиям жизни. Например, появление свободных ресурсов приводит к росту рождаемости, увеличению численности и расширению территориальных границ популяций (как это наблюдается при ослаблении конкурентного давления), и наоборот.

Колебания численности популяций могут быть вызваны сезонными изменениями условий жизни — температуры, влажности, освещенности.

Наибольший интерес, однако, представляют многолетние циклы колебаний численности популяций. Их причинами могут быть различные (регулярные или нерегулярные) изменения абиотических (температуры, влажности, освещенности и др.) или биотических факторов (развитие паразитарных инфекций, хищничество, конкуренция). В ряде случаев многолетние колебания хорошо согласуются с изменениями климатических условий.

Иногда причины, вызывающие колебания численности популяций, могут заключаться в них самих. Это случается, когда смертность или рождаемость организмов изменяется в ответ на изменения их численности, точнее — плотности популяции, т. е. численности особей на единицу площади.

Механизмы такого рода называются *регуляторными*, они срабатывают автоматически, когда плотность популяции достигает или слишком высоких, или слишком низких значений.

Регуляторные механизмы могут иметь характер поведенческих или физиологических реакций организмов на изменение плотности популяции.

Известны случаи, когда в условиях перенаселения у ряда млекопитающих происходят резкие изменения физиологического состояния, что сказывается на поведении животных, снижает их устойчивость к заболеваниям и другим неблагоприятным воздействиям.

Зайцы-беляки, например, в периоды пика численности часто внезапно погибают от «шоковой болезни». У некоторых видов рыб при высокой плотности популяции взрослые особи переходят на питание своей молодью, в результате чего численность популяции начинает снижаться. Повышение смертности и снижение рождаемости под влиянием высокой плотности наблюдаются в популяциях многих видов животных и растений. Во всех этих случаях сигнал к срабатыванию регуляторных механизмов дает сама популяция, точнее, ее плотность.

Срабатывание регуляторных механизмов способно вызывать циклические колебания численности популяций.

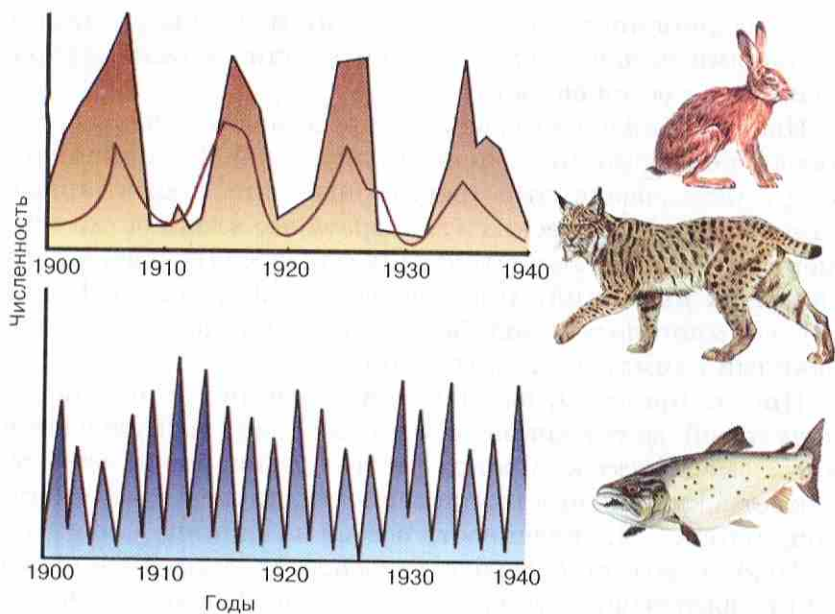


Рис. 106. Циклические колебания численности некоторых видов животных

Пример циклических изменений дают колебания численности некоторых видов северных млекопитающих. Например, циклы трех- и четырехлетней периодичности характерны для многих северных мышевидных грызунов — мышей, полевок, леммингов, для полярной совы, песцов и др. (рис. 106).

В ходе эволюции разные виды живых организмов обретают различные свойства. Это отражается в свойствах их популяций, в особенностях колебаний численности. Популяции видов, приспособленных к существованию в стабильных, хотя и суровых условиях (пингвины, киты, белые медведи), как правило, не способны к быстрым изменениям численности. Без вмешательства человека их численность изменяется плавно, без резких пиков или провалов. Такая картина динамики характерна для организмов, имеющих длительный цикл развития, популяции которых включают в себя множество возрастных групп. В одном и том же водоеме, например, численность щуки, популяция которой состоит из 25 возрастных групп, изменяется гораздо медлен-

ней, чем численность уклеи, популяция которой включает лишь 3 возрастные группы.

Другие виды, обитающие в зонах умеренного климата, особенно однолетние животные (большинство насекомых) и растения (некоторые виды трав), способны к быстрому и резкому изменению численности. Эти изменения характеризуются широким размахом. В годы минимального и максимального обилия численность таких видов может различаться в десятки, сотни, а иногда — в тысячи раз. Для этих видов характерны «популяционные взрывы» — резкие, взрывные возрастания численности, происходящие почти внезапно. Это случается, когда складываются особенно благоприятные условия для размножения организмов. Популяции этого типа, как правило, первыми заселяют новые местообитания в сообществах, находящихся на ранних стадиях своего развития.

В зрелых экосистемах, включающих множество различных видов растений, животных и микроорганизмов, где развиты биотические связи и происходит строгое распределение используемых ресурсов, взаимоотношения типа конкуренции или хищничества становятся главной причиной колебаний численности отдельных видов. Биотические взаимоотношения выступают как своеобразные регуляторы. Они подавляют «популяционные взрывы», переводят беспорядочные изменения в форму правильных периодических колебаний, в ряде случаев стабилизируют численность организмов.

Здесь мы сталкиваемся с важными свойствами, которыми наделены экологические системы разного уровня организации (сообщества, популяции, экосистемы):

— функционирование отдельного элемента системы определяется его связями с другими элементами;

— отдельные элементы взаимозаменяемы: утрата одного приводит к тому, что его функции начинает выполнять другой элемент, занимающий сходное положение в системе.

Это еще один тип регуляции. Сообщества как бы регулируют изменения, происходящие в отдельных популяциях. Популяции же помогают экосистеме сохранять ее свойства даже при утрате тех или иных ее элементов. При исчезновении одного вида его место занимает другой, сходный

с первым по положению в трофической структуре сообщества.

Примером могут служить обычные изменения видового состава рыб в водоемах, где развивается рыбный промысел. Снижение численности наиболее ценных видов вследствие вылова часто приводит к возрастанию численности так называемых «сорных» рыб, не представляющих интереса для рыбаков. Видовое богатство снижается, хотя общая численность рыбного населения остается неизменной.

С динамикой популяций тесно связаны микроэволюционные процессы. Вероятность изменений генофонда (нарушения его равновесия) особенно возрастает, когда численность популяции низка. Следовательно, в годы низкой численности микроэволюционные процессы должны протекать более активно. Если учесть, что снижение численности организмов происходит при резких изменениях внешних факторов, можно понять, что в эти же моменты начинает усиливаться движущий отбор. Иначе говоря, столкнувшись с изменениями условий жизни, популяция отвечает на них не только изменениями численности, но и изменениями самих организмов: в популяции сохраняются особи лишь с теми свойствами, которые оказываются полезными в данных конкретных условиях.

В периоды подъема численности приобретенные изменения закрепляются в популяции. Начинает действовать стабилизирующий отбор. Так происходит адаптация, приспособление организмов к новым условиям жизни.

*Динамика популяций. Рождаемость.
Смертность. Регуляторные механизмы.
Циклические колебания численности.*

?

1. Что такое динамика популяций? Какие факторы вызывают колебания численности популяций?
2. В чем значение динамики популяций в природе?
3. Что такое регуляторные механизмы? Приведите примеры.

Экологические факторы очень многообразны как по своей природе, так и по воздействию на живые организмы. Условно их подразделяют на три большие группы — абиотические, биотические и антропогенные. Экологические условия — это изменяющиеся во времени и пространстве абиотические факторы среды, на которые организмы реагируют по-разному в зависимости от их силы.

К наиболее важным факторам, действующим во всех средах, относятся температура, влажность и свет. Антропогенные факторы — это факторы, возникающие в результате деятельности человека. Современная деятельность человека все чаще проявляется и в загрязнении окружающей среды.

Любой организм способен переносить изменения того или иного фактора лишь в определенных пределах. В этих пределах сила действия фактора на организмы закономерно меняется.

Разные факторы среды могут взаимодействовать, т. е. нехватка одного вещества может приводить к дефициту в других веществах. Ограничивающим, или лимитирующим, фактором является любой из них, приближающийся или выходящий за границу устойчивости для организмов данного вида.

Ресурсами называют вещества и энергию, вовлекаемые организмами в процессы их жизнедеятельности. Ресурс живых организмов — это в основном вещества, идущие на построение их тел, и энергия, необходимая для их жизнедеятельности.

Разные организмы распределены по различным местообитаниям отнюдь не беспорядочно — между организмами и средой имеется соответствие. Это соответствие проявляется в сходстве строения и образа жизни организмов, которые обитают в сходных условиях, но принадлежат к различным систематическим группам. На основе сходства черт строения и образа жизни выделяют различные жизненные формы. Жизненные формы у растений и животных очень разнообразны.

Со временем любые экологические условия изменяются. Ни строение организма, ни его поведение не могут соответствовать внешним условиям, не изменяясь вместе с ними.

Все биотические связи можно разделить на шесть групп: отсутствие влияния (00); взаимовыгодные полезные связи (++)); отношения, вредные для обоих видов (--); один из видов получает выгоду, другой испытывает угнетение (+-); один вид получает пользу, другой не испытывает вреда (+0); один вид угнетается, другой не испытывает вреда и не извлекает пользы (-0).

Важнейшими видами биотических взаимоотношений являются конкуренция и хищничество. Организмы конкурируют за пространство, пищу, свет, убежища и другие виды экологических ресурсов.

Конкуренция играет важную роль в формировании облика природного сообщества. Порождая и закрепляя разнообразие организмов, она способствует повышению устойчивости сообществ, более эффективному использованию имеющихся ресурсов.

Хищничество — одна из форм пищевых взаимоотношений организмов. Длительная связь между хищником и жертвой порождает их взаимозависимость и действует как природный регулятор. Жертвами хищника становятся те животные, которые составляют некоторый «биологический резерв» популяции. Хищники уничтожают ту часть популяции жертвы, которая по тем или иным причинам оказывается более слабой в соревновании за ресурсы.

К числу наиболее важных экологических явлений относится динамика популяций, т. е. изменения численности составляющих их организмов. Популяции не могут существовать в меняющихся условиях внешней среды, не изменяясь вместе с ними. Популяционные изменения — это сложный процесс, обеспечивающий устойчивость популяций и сообществ.

Способность к саморегуляции присуща всем экологическим объектам.

Глава

10 Биосфера и человек



Из этой главы вы узнаете:

- *об основных этапах эволюции биосферы;*
 - *о месте и роли человека в биосфере;*
 - *о ноосфере как стадии разумного преобразования биосферы человеком;*
 - *об основах рационального природопользования.*
-

10.1. Эволюция биосферы



1. Что называется биосферой?
2. Какой состав имела первичная атмосфера планеты?
3. Какие автотрофные организмы вам известны?

По современным представлениям, развитие безжизненной геосферы, т. е. оболочки, образованной веществом Земли, происходило на ранних стадиях существования нашей планеты. Изменения облика Земли были связаны с геологическими процессами, происходившими в земной коре, на поверхности и в глубинных слоях планеты, и находили проявление в извержениях вулканов, землетрясениях, подвижках земной коры, горообразовании.

С возникновением жизни сначала медленно и слабо, затем все быстрее и значительнее стало проявляться влияние живой материи на геологические процессы Земли.

Деятельность живого вещества, проникающего во все уголки планеты, привела к возникновению качественно нового образования — биосферы, тесно взаимосвязанной единой системы геологических и биологических тел и процессов преобразования энергии и вещества.

Биосфера — не только сфера распространения жизни, но и результат ее деятельности. Начиная с момента зарождения, жизнь постоянно развивается и усложняется, оказывая воздействие на окружающую среду, изменяя ее. Таким образом, эволюция биосферы протекает параллельно с историческим развитием органической жизни.

Выдающийся русский ученый В. И. Вернадский, один из создателей современного учения о биосфере, определил ее как наружную оболочку Земли, населенную живыми организмами. Биосфера включает в себя:

— *живое вещество*, т. е. совокупность всех живых организмов (растения, животные, грибы, микроорганизмы);

— *биогенное вещество* — органоминеральные или органические продукты, созданные живым веществом (торф, каменный уголь, нефть);

— *биокосное вещество*, созданное живыми организмами вместе с неживой (косной) природой (водой, атмосферой, горными породами), — почвенный покров;

— *косное (мертвое) вещество*, образованное процессами, в которых живые организмы не участвуют (изверженные горные породы, космическая пыль и т. п.).

Биосфера находится в постоянном динамическом равновесии и развитии.

На начальном этапе развития биосферы живые организмы использовали органические соединения первичного океана. Углекислый газ, как побочный продукт обмена веществ, выделялся в атмосферу.

Живые организмы довольно быстро использовали запасы органических веществ первичного океана. Преимущества получили и широко размножились микроорганизмы, например метановые бактерии, способные синтезировать органические соединения из углекислого газа и присутствующего в атмосфере водорода. В результате образовывался метан и высвобождалась энергия, использовавшаяся для процессов жизнедеятельности микроорганизмов. Метан поступал в атмосферу и под действием ультрафиолетового излучения превращался в водорастворимые органические соединения, которые вновь возвращались в воду.

В то время, по мнению ученых, в составе атмосферы концентрация метана, определявшаяся жизнедеятельностью организмов, оставалась примерно на одном уровне (рис. 107).

Такое состояние могло сохраняться до тех пор, пока в земной атмосфере было значительное количество водорода. Когда же запасы газообразного водорода истощились, метановые бактерии уже не могли перерабатывать углекислый газ в метан и таким образом лишились источника энергии для синтеза собственных питательных веществ.

Необходимо было найти источник получения энергии. Им стал фотосинтез. У первых фотосинтезирующих микроорганизмов, как и у современных цианобактерий, фотосинтез протекал без выделения кислорода (рис. 108).

На следующем этапе эволюции появились организмы с более совершенным механизмом фотосинтеза, в результате которого в качестве побочного продукта в атмосферу стал выделяться кислород (рис. 109).

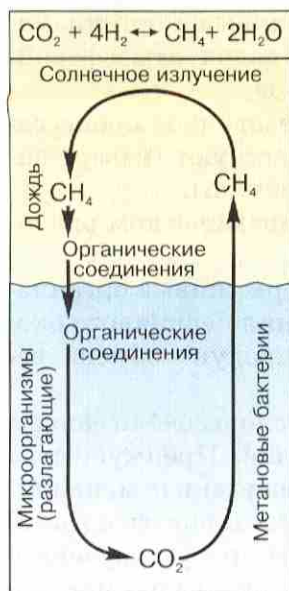


Рис. 107. Схема круговорота углерода на древней Земле

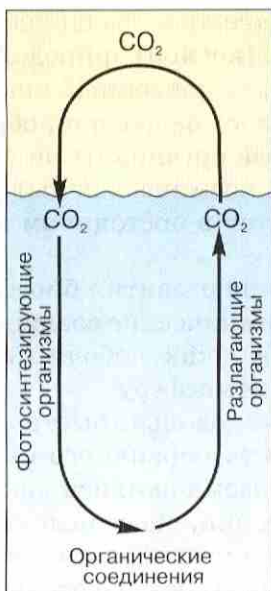


Рис. 108. Схема круговорота углерода с появлением первых фотосинтезирующих микроорганизмов

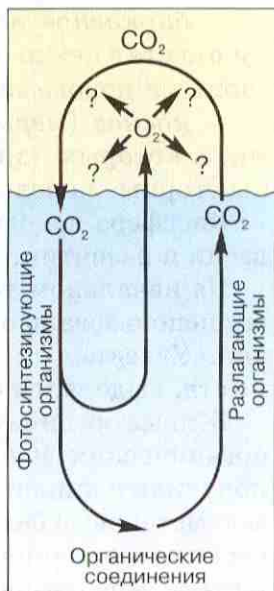


Рис. 109. Схема круговорота углерода с появлением организмов с современным механизмом фотосинтеза

Это вело к изменению состава атмосферы Земли. Теперь в ней становилось все больше кислорода.

Кислород — сильный окислитель и губителен для анаэробных (живущих в бескислородной среде) организмов. Поэтому для живых организмов того времени он был сильным ядом. Практически кислород стал загрязнителем атмосферы, что привело к экологическому кризису. Живые организмы должны были погибнуть или приспособиться к новым условиям среды. У них стали появляться различные механизмы обезвреживания ядов. Некоторые из них выполняют у современных живых организмов совершенно иные функции. Например, ученые считают, что биохимический механизм, при помощи которого светлячок вырабатывает световую энергию, появился у древних организмов как средство обезвреживания губительного воздействия кислорода.

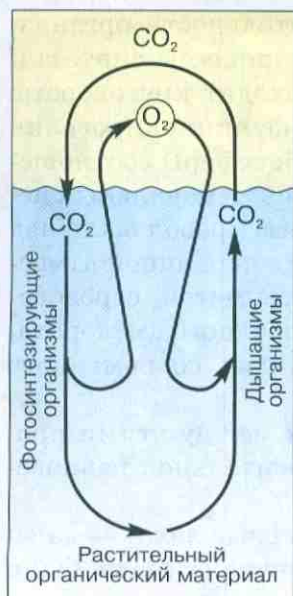


Рис. 110. Схема круговорота с появлением у организмов процесса дыхания

В конечном итоге природа нашла наиболее рациональный путь решения этой проблемы. Живые организмы уже не боролись против кислорода, а использовали его для получения энергии. Появился процесс дыхания.

Фотосинтез сыграл огромную роль в развитии органического мира и эволюции биосферы.

Первые живые организмы развивались в воде, которая защищала их от губительного воздействия ультрафиолетовых лучей. Кислород, выделявшийся в процессе фотосинтеза, в верхних слоях атмосферы под действием ультрафиолетовых лучей превращался в озон (его молекула содержит три атома кислорода — O_3). По мере накопления озона произошло образование озонового слоя, который, как экран, надежно защитил поверхность Земли от губительной для живых организмов ультрафиолетовой солнечной радиации.

Это позволило живым организмам выйти на сушу и заселить ее.

Для поддержания жизнедеятельности одной клетке требуется сравнительно мало энергии. Но чем сложнее организм, тем больше энергии ему необходимо. С появлением дыхания эта проблема была решена. Процесс дыхания обеспечил организмы энергией, что дало толчок к возникновению многоклеточных организмов, их дальнейшему развитию и усложнению.

В процессе дыхания организмы потребляли кислород и выделяли соответствующее количество углекислого газа, который использовался для синтеза органических веществ в процессе фотосинтеза. Постепенно между фотосинтезирующими организмами и гетеротрофами установилось равновесие, которое привело к стабилизации нового состава атмосферы. Сформировались современные круговороты углерода и кислорода (рис. 110).

Таким образом, благодаря жизнедеятельности организмов в биосфере непрерывно протекают процессы синтеза и распада органических веществ и происходят круговороты веществ, обеспечивающие стабильность функционирования биосферы. На разных этапах развития биосферы соотношение процессов синтеза и распада менялось. В начальный период развития биосферы процессы синтеза преобладали над разрушением. Это привело к тому, что из первичной атмосферы в большом количестве были изъяты метан, сероводород, углекислый газ, а концентрация свободного кислорода, отсутствовавшего в ней прежде, достигла современного уровня — 21%.

В конце мезозоя — начале кайнозоя между этими процессами в биосфере установилось относительное равновесие.

Около 2,5 млн лет назад появились первые люди — далекие предки современного человека. Вначале люди были охотниками и собирателями. Однако в связи с усовершенст-



Рис. 111. Охота на пещерного медведя

вованием орудий охоты человечество весьма быстро, вероятно, всего за два-три тысячелетия, истребило крупных копытных, пещерных медведей и мамонтов — основу своего пищевого рациона того времени (рис. 111). Охота не могла уже обеспечить пропитание людей. Человек оказался на грани голодной смерти и был обречен на вымирание. Он мог бы и совсем исчезнуть с лица планеты, как исчезли многие биологические виды, например саблезубые тигры.

Однако судьба человека оказалась иной. Он перешел к земледелию, а несколько позднее и скотоводству, т. е. человек преодолел экологический кризис, создав искусственный круговорот веществ в природе.

Человечество стало создавать фактически искусственную среду своего обитания (поселения, жилища, одежду, продукты питания, машины и многое другое). С этих пор эволюция биосферы вступила в новую фазу, где человеческий фактор стал мощной движущей силой.

С появлением промышленности процессы разрушения в атмосфере стали преобладать над процессами созидания, причем эти тенденции становятся все более выраженными. Биосфера находится на грани нового экологического кризиса. Его последствия могут быть катастрофическими для человечества. Чтобы предотвратить беду, необходимо не только изменить промышленные технологии, но и — в первую очередь — перестроить собственное сознание.

?

1. Почему можно говорить о взаимосвязи развития органического мира и эволюции биосферы?
2. Какие процессы были характерны для раннего этапа эволюции биосферы?
3. Почему на определенных этапах развития биосферы возникали экологические кризисы?
4. Почему можно утверждать, что надвигающийся экологический кризис является результатом деятельности человека?
5. Можно ли считать завершенным процесс формирования биосферы?

10.2. Антропогенное воздействие на биосферу



1. Какие основные компоненты включает в себя биосфера?
2. Какова роль живого вещества в эволюции биосферы?
3. Как происходило развитие (эволюция) биосферы?
4. Какова роль человека в биосфере?

Эволюция биосферы шла по пути усложнения структуры биологических сообществ, умножения числа видов и совершенствования их приспособленности. Эволюционный процесс сопровождался увеличением эффективности преобразования энергии и вещества биологическими системами: организмами, популяциями, сообществами.

Вершиной эволюции живого на Земле явился человек, который как биологический вид отличается от всех остальных наличием мышления, способностью к осознанной деятельности и умением изготавливать и использовать орудия труда.

Человек, в отличие от всех других живых организмов, не приспосабливался к окружающей его среде, а приспособливал ее к своим потребностям.

В палеолите человек еще вписывался в естественный круговорот веществ в природе. После появления земледелия, скотоводства, начала добычи и использования полезных ископаемых он сам стал активно вмешиваться в его формирование, вовлекая в круговорот новые вещества — углеводороды, железо и другие полезные ископаемые.

В XVIII в. началось бурное развитие промышленного производства. С тех пор и до сего дня влияние человечества на биосферу возрастает с каждым годом. Человек наступает на природу, не задумываясь о неизбежных последствиях своей деятельности.

Строятся города, огромные площади в сельской местности заняты техническими монокультурами, уничтожаются

леса и болота, бесполезные с точки зрения современного человека. Все больше сокращается разнообразие видов живых организмов в средах, эксплуатируемых человеком. Уменьшение биологического разнообразия естественной среды приводит к нарушению равновесия в природе.

Редуценты уже не в состоянии полностью переработать отходы, оставляемые человеческим обществом. Положение усугубляется тем, что в процессе промышленного производства создается большое количество веществ, которые невозможно разрушить биологическим путем (например, многие пластмассы).

Загрязнение среды приобретает все большие размеры. Происходит быстрое истощение невозобновимых природных ресурсов биосферы (рис. 112).

Теперь мы все отчетливее понимаем, что представление о неисчерпаемости природных ресурсов ведет человечество к экологической катастрофе.

В данной ситуации перед человечеством возможны лишь два пути.



Рис. 112. Природные ресурсы

Первый — положиться на волю стихии: в этом случае наступающий кризис приведет, скорее всего, к уничтожению человечества.

Следовательно, возможен лишь второй путь, при котором стихии развития должна быть противопоставлена разумная стратегия, общая для всего человечества. Она должна быть направлена на преобразование биосферы Земли, по определению В. И. Вернадского, в ноосферу — сферу разума. В. И. Вернадский писал: «Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой. И перед ним, перед его мыслью и трудом ставится вопрос о перестройке биосферы в интересах свободно мыслящего человечества как единого целого. Это новое состояние биосферы, к которому мы, не замечая этого, приближаемся, и есть ноосфера».

К сожалению, мы еще очень далеки от решения данной проблемы. Для перестройки биосферы в ноосферу требуются не только обширные и глубокие знания закономерностей и механизмов функционирования экологических систем, но определенный уровень нравственности общества, осознание каждым человеком своего единства с природой, необходимости перестройки системы общественного производства и потребления.

Каждый из нас и человечество в целом должны осознать ограниченность ресурсов на нашей планете. Необходимо четко уяснить, что ни один вид живых организмов не может жить, пренебрегая законами природы. Нельзя потреблять больше, чем производят экосистемы. Нарушение законов природы неизбежно ведет к гибели человеческой цивилизации.

Человек — лишь один из биологических видов на нашей планете, и он не должен забывать: биосфера без человека существовала и может существовать, человек вне биосферы существовать не может.

?

1. С какого момента человек выделился из остальной природы? В чем его жизнь стала отличаться от жизни других живых существ?
2. Чем вызван экологический кризис на нашей планете?
3. Существуют ли пути преодоления этого экологического кризиса?
4. Что В. И. Вернадский понимал под ноосферой?

10.3. Основы рационального природопользования



1. Какие глобальные экологические проблемы, стоящие перед человечеством, вам известны?
2. Какие природные ресурсы вы знаете?
3. В чем причина экологического кризиса на нашей планете?

В эпоху ноосферы может вступить лишь высокообразованное общество, понимающее свои цели, способное соизмерять свои потребности с теми возможностями, которые дает ему природа.

Для разумного управления биосферой и перехода на уровень ноосферы необходимо не только знать устройство и принцип «работы» этой огромной и сложной системы, но и уметь влиять на происходящие в ней процессы в желаемом направлении.

И все же даже совершенное знание биосферных механизмов и ясное понимание того, что надо делать, не дадут реальных плодов при отсутствии определенного уровня зрелости и культуры общества. Здесь важнейшей задачей является формирование новой социальной и экологической нравственности. На смену лозунгам типа «Человек — царь природы» или «Нельзя ждать милостей от природы, взять их у нее — наша задача!» должны прийти установки на разумное и бережное отношение к тому, благодаря чему мы существуем, к нашему общему и единственному дому — планете Земля.

Необходимо сформировать такую стратегию развития человеческого общества, которая позволила бы гармонично сочетать его потребности с возможностями нормального функционирования биосферы. Это означает не только широкое распространение производственных способов (технологий) сбережения энергии и ресурсов, но и (в первую очередь!) изменение характера потребностей людей.

Сейчас мы живем в обществе, которое называют «обществом одноразового потребления». Для него характерна нерациональная расточительная эксплуатация природных ре-

сурсов. Для сохранения человеческой цивилизации необходимо построить природосберегающее общество, разумно использующее природные ресурсы.

Природные ресурсы — важнейшие компоненты окружающей человека среды, используемые для удовлетворения всевозможных материальных и культурных потребностей общества. Они весьма разнообразны (рис. 112).

Ограниченность ресурсов Земли становится в настоящее время одной из наиболее актуальных проблем человеческой цивилизации. Поиск путей рационального управления природными ресурсами — одна из важнейших задач современности.

Ограниченность природных ресурсов, несовершенство технологии их добычи и переработки часто приводят к разрушению биогеоценозов, загрязнению окружающей среды, нарушениям климата и круговорота веществ в экосистемах.

Общая задача рационального управления природными ресурсами состоит в нахождении наилучших (по определенным критериям), или оптимальных, способов эксплуатации естественных и искусственных экосистем.

Создание новых технологий должно сочетаться с компетентной, грамотной экологической экспертизой всех, особенно широкомасштабных, проектов в промышленности, строительстве, на транспорте, в сельском хозяйстве и других отраслях человеческой деятельности. Проводимая специальными независимыми органами, такая экспертиза позволит избежать многих просчетов и непредсказуемых последствий реализации этих проектов для биосферы.

В целом охрана окружающей среды и задачи восстановления природных ресурсов должны предусматривать следующие виды деятельности:

- локальный (местный) и глобальный экологический мониторинг, т. е. измерение и контроль состояния важнейших характеристик окружающей среды, концентрации вредных веществ в атмосфере, воде, почве;

- восстановление и охрану лесов от пожаров, вредителей, болезней;

- расширение и увеличение числа заповедных зон, уникальных природных комплексов;

- охрану и разведение редких видов растений и животных;

— широкое просвещение и экологическое образование населения;

— международное сотрудничество в деле охраны среды.

Только активная работа во всех областях человеческой деятельности по формированию нового отношения к природе, разработка рационального природопользования, природосберегающей технологии будущего смогут решать экологические проблемы сегодняшнего дня и перейти к гармоничному сотрудничеству с природой. Разработка совершенного экологического законодательства и создание эффективных механизмов его реализации — неременный элемент построения общества, живущего в гармонии с природой.

Осознание общих целей и трудностей, стоящих на пути, неизбежно будет рождать ощущение общепланетарного единства людей. Нам необходимо научиться чувствовать себя членами одной семьи, судьба которой зависит от каждого из нас. Осознание единства человечества — одна из основ экологической нравственности и гуманизма.

?

1. Почему мы не можем утверждать, что человеческое общество уже вступило в эпоху ноосферы?
2. Почему наше общество можно отнести к «обществу одноразового потребления»?
3. Как вы считаете, сможет ли человечество преодолеть экологический кризис?

Краткое содержание главы

Биосфера — не только сфера распространения жизни, но и результат деятельности живых организмов. С возникновением жизни вначале медленно и слабо, затем все быстрее и значительнее стало проявляться влияние живой материи на геологические процессы Земли.

Эволюция биосферы шла по пути усложнения структуры биологических сообществ, умножения числа видов и совершенствования их приспособленности к среде обитания. Человек, в отличие от всех других живых организмов, не приспособивался к окружающей его среде, а наоборот, приспособивал ее к своим потребностям. Человечество фактически стало создавать искусственную среду своего обитания.

С этих пор биосфера вступила в новую фазу, где человеческий фактор стал мощной движущей силой, которая оказывает на нее все большее влияние.

Современные цивилизации, основанные на представлении о неисчерпаемости природных ресурсов, ведут человечество к катастрофе. Только разумная стратегия всего человечества, направленная на преобразование биосферы Земли в ноосферу, может предотвратить экологический кризис.

Активная работа во всех областях человеческой деятельности по формированию нового отношения к природе, разработка рационального природопользования, природосберегающей технологии будущего смогут решить экологические проблемы сегодняшнего дня и перейти к гармоничному сотрудничеству с природой. Осознание единства человечества — одна из основ экологической нравственности и гуманизма.

Оглавление



Введение	3
1. Биология — наука о жизни	4
2. Методы исследования в биологии	6
3. Сущность жизни и свойства живого	10
<i>Краткое содержание вводного раздела</i>	<i>13</i>

РАЗДЕЛ 1

УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

Глава 1

Молекулярный уровень

1.1. Молекулярный уровень: общая характеристика	16
1.2. Углеводы	18
1.3. Липиды	21
1.4. Состав и строение белков	23
1.5. Функции белков	27
1.6. Нуклеиновые кислоты	29
1.7. АТФ и другие органические соединения клетки	33
1.8. Биологические катализаторы	35
1.9. Вирусы	37
<i>Краткое содержание главы</i>	<i>40</i>

Глава 2

Клеточный уровень

2.1. Основные положения клеточной теории	42
2.2. Общие сведения о клетках. Клеточная мембрана	43
2.3. Ядро	46

2.4.	Эндоплазматическая сеть. Рибосомы. Комплекс Гольджи	49
2.5.	Лизосомы. Митохондрии. Пластиды	52
2.6.	Клеточный центр. Органоиды движения. Клеточные включения	56
2.7.	Различия в строении клеток эукариот и прокариот	58
2.8.	Ассимиляция и диссимиляция. Метаболизм	60
2.9.	Энергетический обмен в клетке	62
2.10.	Питание клетки	64
2.11.	Фотосинтез и хемосинтез	65
2.12.	Гетеротрофы	69
2.13.	Синтез белков в клетке	70
2.14.	Деление клетки. Митоз	77
	<i>Краткое содержание главы</i>	81

Глава 3

Организменный уровень

3.1.	Бесполое размножение организмов	84
3.2.	Половое размножение организмов	87
3.3.	Оплодотворение	92
3.4.	Индивидуальное развитие организмов. Биогенетический закон	93
3.5.	Закономерности наследования признаков, установленные Г. Менделем. Моногибридное скрещивание	100
3.6.	Неполное доминирование. Генотип и фенотип. Анализирующее скрещивание	105
3.7.	Дигибридное скрещивание. Закон независимого наследования признаков	107
3.8.	Сцепленное наследование признаков. Закон Т. Моргана. Перекрест	110
3.9.	Взаимодействие генов	112
3.10.	Генетика пола. Сцепленное с полом наследование	115
3.11.	Закономерности изменчивости: модификационная изменчивость. Норма реакции	117
3.12.	Закономерности изменчивости: мутационная изменчивость	119
3.13.	Основы селекции. Работы Н. И. Вавилова	122
3.14.	Основные методы селекции растений, животных и микроорганизмов	126
	<i>Краткое содержание главы</i>	130

Глава 4

Популяционно-видовой уровень

4.1. Критерии вида	134
4.2. Популяции	138
4.3. Биологическая классификация	141
<i>Краткое содержание главы</i>	<i>144</i>

Глава 5

Экосистемный уровень

5.1. Сообщество, экосистема, биогеоценоз	146
5.2. Состав и структура сообщества	149
5.3. Потоки вещества и энергии в экосистеме	158
5.4. Продуктивность сообщества	161
5.5. Саморазвитие экосистемы	164
<i>Краткое содержание главы</i>	<i>170</i>

Глава 6

Биосферный уровень

6.1. Биосфера. Среды жизни	172
6.2. Средообразующая деятельность организмов	178
6.3. Круговорот веществ в биосфере	180
<i>Краткое содержание главы</i>	<i>185</i>

РАЗДЕЛ 2

ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Глава 7

Основы учения об эволюции

7.1. Развитие эволюционного учения. Ч. Дарвин	188
7.2. Изменчивость организмов	193
7.3. Генетическое равновесие в популяциях и его нарушения	197
7.4. Борьба за существование и естественный отбор	201
7.5. Формы естественного отбора	206
7.6. Изолирующие механизмы	210
7.7. Видообразование	213

7.8. Макроэволюция	217
7.9. Основные закономерности эволюции	220
<i>Краткое содержание главы</i>	<i>225</i>

Глава 8

Возникновение и развитие жизни на Земле

8.1. Гипотезы возникновения жизни	228
8.2. Развитие представлений о происхождении жизни. Гипотеза Опарина — Холдейна	232
8.3. Современные гипотезы происхождения жизни	236
8.4. Основные этапы развития жизни на Земле	238
8.5. Развитие жизни на Земле. Эра древней жизни	243
8.6. Развитие жизни в протерозое и палеозое	247
8.7. Развитие жизни в мезозое	252
8.8. Развитие жизни в кайнозое	257
<i>Краткое содержание главы</i>	<i>260</i>

РАЗДЕЛ 3

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Глава 9

Организм и среда

9.1. Экологические факторы. Условия среды	264
9.2. Общие закономерности влияния экологических факторов на организмы	268
9.3. Экологические ресурсы	270
9.4. Адаптация организмов к различным условиям существования	272
9.5. Межвидовые отношения организмов	277
9.6. Колебания численности организмов. Экологическая регуляция	279
<i>Краткое содержание главы</i>	<i>285</i>

Глава 10

Биосфера и человек

10.1. Эволюция биосферы	288
10.2. Антропогенное воздействие на биосферу	294
10.3. Основы рационального природопользования	297
<i>Краткое содержание главы</i>	<i>299</i>



ΠΡΟΦΑ

ISBN 978-5-358-12396-0



9 785358 123960