

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



ОСНОВЫ ОБЩЕЙ БИОЛОГИИ



9

КЛАСС



Вентана-Граф

ВЕНТАНА-ГРАФ
МОСКОВСКИЙ УЧЕБНИК

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

Основы общей биологии

Учебник для учащихся 9 класса
общеобразовательных учреждений

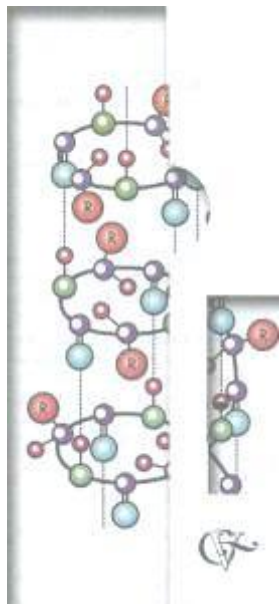
Издание третье, переработанное

Под редакцией
проф. И.Н. Пономаревой

Рекомендовано Министерством
образования
Российской Федерации

OCR by Palek, 2011

Москва
Издательский центр «Вентана-Граф»
ОАО «Московские учебники»
2006



Глава 1

Введение в основы общей биологии

Изучив главу, вы сумеете:

- объяснить, что такое наука биология, и раскрыть назначение курса «Основы общей биологии»;
- выделить общие свойства живого;
- охарактеризовать организм как биосистему;
- различать существующие в природе биосистемы по уровню их организации.

§ 1 Биология — наука о живом мире

Биология — наука, которая изучает живой мир нашей планеты. Название этой науки произошло от двух греческих слов: *bios* — «жизнь»; *logos* — «учение». Поэтому биологию называют наукой о живом мире.

Биология изучает разнообразие, строение и функции живых существ и природных сообществ, распространение, происхождение и развитие организмов, их связи друг с другом и с неживой природой.

Исследование природы началось на самых ранних этапах развития человечества — оно обеспечивало людям выживание. Им необходимо было знать, какие растения, животные, грибы опасны или ядовиты, а какие могут быть использованы в пищу, чем лечиться, из чего изготавливать одежду, охотничьи приспособления, орудия труда, из чего лучше строить жилье. Эти знания люди запоминали, передавали из поколения в поколение, позднее начали составлять списки полезных растений и животных, характеризовать их свойства, указывать места обитания, особенности использования, способы выращивания — *культивирования*.

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

Первой биологической энциклопедией можно считать 37-томный труд римского писателя и ученого Плиния Старшего (I в. н. э.) «Естественная история». Кроме знаний по искусству, истории и быту Древнего Рима в этой работе изложены многочисленные сведения о растениях, животных (культурных и диких).

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

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

Биология, в отличие от естественной истории, наряду с описанием и систематизацией широко использует аналитические и сравнительные, исторические, экспериментальные (в том числе моделирование) методы исследования и применяет

их в комплексе. Благодаря этому она открывает закономерности проявлений жизни и ее развития, устанавливает принципы систематизации живых существ, особенности существования и взаимодействия организмов и их сообществ (живых систем) в изменяющихся условиях окружающей среды. Вот почему добытые биологией знания жизненно важны для каждого человека. Биология относится к фундаментальным наукам, так как ее выводы имеют основополагающее теоретическое и прикладное (практическое) значение.

Современная биология представляет собой комплексную науку, состоящую из ряда самостоятельных научных дисциплин со своими объектами исследования. Так, растения изучает *ботаника*, животных — *зоология*, анатомо-физиологические свойства человека — *биология человека*, бактерий — *микробиология* и т. д.



Жан Батист
Ламарк (1744–1829)

Для современной биологии характерно глубокое взаимопроникновение идей и методов биологических и других наук. Наиболее тесно биология связана с потребностями человека в пищевых продуктах и лекарствах, в безопасной для жизни среде (сельское хозяйство, охрана природы, медицина). Обогащение биологии идеями и методами других наук, открытия в различных областях человеческой деятельности, новые вызовы и проблемы жизни и особенно практические запросы людей определяют направления дальнейшего развития биологических наук. Так, изучение молекулярного строения единиц наследственности — генов лежит в основе создания *генной инженерии*, позволяющей получать организмы с признаками, нужными человеку. Достижения *биотехнологии* позволяют получать промышленным путем необходимые для человека вещества (в том числе

антибиотики, витамины).

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

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

Наиболее общие закономерности, присущие живой природе, рассматриваются в курсе *общей биологии*, куда обычно включают биохимию, цитологию, генетику, биологию развития, эволюционное учение и экологию. К изучению этих областей знаний вы и приступаете.

1. Объясните, почему биология, будучи одной из древнейших наук, необходима современному человеку.
2. Докажите, что биология — фундаментальная наука.
3. Поясните, что вы будете изучать в курсе «Основы общей биологии».

§2 Общие свойства живых организмов

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

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

1. В организмах и их клетках содержатся те же химические элементы, что и в телах неживой природы. Но в клетках живых существ есть еще и органические вещества — *углеводы, белки, жиры и нуклеиновые кислоты*, образующие упорядоченные структуры. Только находясь в клетке, органические вещества обеспечивают проявления жизни.

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

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

2. Основной структурной и функциональной **единицей** почти всех организмов является *клетка*. В многоклеточных организмах из клеток формируются *ткани*, ткани образуют *органы*, которые создают *системы органов* (рис. 1).

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

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

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

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

Самовоспроизведение — важнейшее свойство живого, поддерживающее непрерывность существования жизни.

5. Живые существа активно реагируют на действия факторов среды, т. е. проявляют **раздражимость**.

Раздражимость — общее свойство живого, позволяющее организмам ориентироваться в окружающей среде и, следовательно, выживать в изменяющихся условиях.

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

6. Организмы обычно **приспособлены** к своей среде обитания. Это проявляется в особенностях внешнего и внутреннего строения, функциях, в поведении организмов, в ритмах их активной жизни, в географическом распространении.

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

7. Живые организмы с течением времени претерпевают необратимые качественные изменения своих свойств — **развиваются**. Развитие сопровождается **ростом** — увеличением размеров и массы организма, связанным с появлением у него новых клеток.

Способность к росту и развитию — общее свойство живого.

8. Развитие свойственно не только отдельным организмам, но и живому миру в целом. На протяжении длительного времени, т. е. в историческом процессе, живая природа изменяется. Этот процесс обычно идет в направлении от простого к сложному и к большей приспособленности организмов к среде обитания. В итоге создается огромное разнообразие форм живого. Развитие в исторически длительном процессе называют **эволюцией** (лат. *evolutio* — «развертывание»).

Эволюция — общее свойство живого мира.

Общие свойства живых организмов по-разному выражены у различных представителей. Вместе с тем эти свойства характеризуют своеобразие живой природы и ее отличие от неживой.



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

1. Какие важнейшие свойства присущи всем живым существам — растениям, животным, человеку?
2. Поясните разницу между понятиями «рост» и «развитие».
3. Установите правдивость утверждений. Уточните формулировку неверных, на ваш взгляд, высказываний (определяемым должно быть выделенное понятие).
 - **Самовоспроизведение** — это сохранение своей жизни.
 - Ориентировку организма в окружающей среде обеспечивает **приспособленность**.
 - **Эволюция** — это развитие организмов.

§3 Многообразие форм живых организмов

Жизнь протекает на большом пространстве разнообразной поверхности земного шара.

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

Биосфера включает нижнюю часть атмосферы, всю гидросферу и поверхностные слои литосферы — почву, которая образовалась в результате процессов выветривания и деятельности живых организмов. Каждая из этих оболочек Земли имеет свои особые условия, создающие разные среды жизни (водную, наземно-воздушную, почвенную, организменную). Различными условиями сред жизни порождаются многообразие форм живых существ и их специфические свойства.

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

Иными качествами наделены организмы, населяющие наземно-воздушную среду жизни. В процессе эволюции они приобрели способность существовать в менее плотной (по сравнению с водой) наземно-воздушной среде, при обилии воздуха и кислорода, резком колебании освещенности, суточных и сезонных температур, при дефиците влаги. Организмы, населяющие эту среду, называют **аэробиионтами** (греч. *aer* — «воздух») или **террабионтами** (греч. *terra* — «земля»).

Обитатели почвенной среды жизни, называемые **педобионтами** (греч. *pedon* — «почва»), отличаются небольшими размерами тела, способностью обходиться без света, питаться мелкими животными и органическими веществами мертвых тел, попавших в почву.

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

В историческом развитии жизни на Земле возникло разнообразие форм живого, обусловленное не только обитанием в разных средах жизни, но и уровнем сложности организмов. В каждой среде обитают различные одноклеточные и многоклеточные существа. Самые древние из них — многочисленные



Рис. 2. Растительный организм как биосистема — совокупность взаимодействующих органов, тканей и клеток

прокариоты (бактерии). Более поздние — *эукариоты* (растения, грибы, животные).

Бактерии, растения, грибы и животные выделяют в отдельные царства клеточных организмов. Как особое царство живой природы рассматривают неклеточные организмы — *вирусы*. Все представители разных царств живого мира отличаются друг от друга по многим признакам (внешнее и внутреннее строение, процессы жизнедеятельности, функционирование в природе и пр.). Однако, несмотря на различия, все они существуют в *форме организмов*. Это особенность живой материи. Одни организмы являются одноклеточными, другие — многоклеточными.

В настоящее время биология рассматривает разнообразие живых форм на основе учения о системе. Для **системы** характерно наличие нескольких различных частей (компонентов) и связей между ними (структура), обеспечивающих ее целостность. Так как организм представляет собой целостную систему взаимодействующих живых компонентов (органов), его называют **живой системой** или **биологической системой (биосистемой)** (рис. 2).

Биосистема — это форма жизни, обусловленная взаимодействием живых компонентов.

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

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

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

В живой природе выделяют шесть основных структурных уровней организации жизни: **молекулярный, клеточный, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический и биосферный**. Последовательность названий этих уровней отражает нарастающую степень сложности структуры каждой биосистемы (рис. 3).

Все организмы состоят из химических веществ — неорганических и органических соединений. Из биологических молекул образуются надмолекулярные структуры — клеточные. Клетки — элементарные структурные единицы всех организмов. Любой одноклеточный или многоклеточный организм способен к самостоятельному существованию. Организмы одного вида, обитающие на определенной территории, образуют популяцию. Популяции разных видов, взаимодействующие между собой на определенной территории, входят в состав биогеоценозов. Все биогеоценозы Земли формируют биосферу.

Таким образом, на Земле имеется огромное разнообразие форм жизни. В одном случае оно объясняется условиями сред жизни на планете; в другом — историческим ходом развития живой материи — эволюцией, в результате которой на Земле

появились различные и многочисленные царства организмов; в третьем — сложностью структуры различных биосистем.

1. Расставьте по возрастанию степени сложности структурные уровни организации жизни: биосферный, клеточный, молекулярный, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический.

2*. Подумайте: если одуванчик (как пример организма) является биосистемой, то какие взаимодействующие компоненты обеспечивают ее целостность?

3. Какое из данных утверждений правильное?

- Биосистема является суммой живых организмов.
- Биосистема — совокупность ее взаимодействующих частей.



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

Краткое содержание главы

Биология — наука, изучающая многообразие форм жизни и их проявления. Изучение биологии необходимо каждому человеку для познания живой природы и понимания своего места в ней.

На Земле существует огромное разнообразие организмов. Различаясь между собой рядом существенных признаков, они имеют общие свойства.

Наименьшей единицей организма является клетка.

Организмы получают из окружающей среды энергию, которую используют для поддержания упорядоченности процессов своей жизнедеятельности: реагируют на среду и приспосабливаются к ней.

Живой мир делится на несколько царств.

Многообразие живого мира на Земле обусловлено разнообразием сред жизни, историческим развитием форм жизни — их эволюцией, а также разной структурной сложностью биосистем.

Биосистема — это форма жизни, содержащая живые компоненты, находящиеся во взаимодействии, создающие целостность. Она отражает разные уровни организации живой материи. Различают шесть основных структурных уровней: молекулярный, клеточный, организменный, популяционно-видовой, биогеоценотический, биосферный.

Проверьте себя

1. Назовите общие свойства живого.
2. Охарактеризуйте основные свойства биосистемы.
3. Назовите уровни организации живой материи.
4. Зачем нужно изучать биологию?

Проблемы для обсуждения

1. Какое значение для появления многообразия форм жизни имеют разные среды жизни в биосфере?
2. По каким признакам можно сравнить между собой представителей различных царств (растения, животные, грибы, бактерии)?
3. Поясните, почему популяционно-видовой и биогеоценотический уровни часто называют надорганизменными.
4. Докажите, что лес является биосистемой.

Основные понятия

Биосистема. Основные свойства (признаки) живого. Многообразие форм жизни. Структурные уровни организации жизни.

Глава 2

Основы учения о клетке

Изучив эту главу, вы сумеете:

- охарактеризовать состав и строение клетки, объяснить роль внутриклеточных структур (органоидов и молекул) в процессе жизнедеятельности клетки;
- различить типы органических соединений живых клеток;
- объяснить различия клеток эукариот и прокариот, автотрофов и гетеротрофов;
- рассказать о роли обмена веществ в жизни клетки;
- сравнить процессы биосинтеза белков, фотосинтеза и дыхания;
- доказать, что клетка — биосистема.

§ 4 Цитология — наука, изучающая клетку. Многообразие клеток

Наука, изучающая клетки, называется *цитологией*. Название произошло от греческих слов *kytos*— «вместилище», «клетка» и *logos*— «учение». Цитология исследует состав, строение и функции клеток у многоклеточных и одноклеточных организмов.

Наука, исследующая клетку, ведет свою историю с середины XIX в., но корни ее уходят в XVII в. Развитие знаний о клетке во многом связано с усовершенствованием технических устройств, позволяющих ее рассмотреть и изучить. Понять жизнь клетки помогли работы ученых-цитологов, исследующих строение и жизнедеятельность клетки. В 1665 г. английский естествоиспытатель Р. Гук впервые рассмотрел оболочки растительных клеток, а в 1674 г. нидерландский натуралист А. ван Левенгук первым наблюдал под самодельным микроскопом некоторых простейших и отдельные клетки животных (эритроциты, сперматозоиды). В 1838 г., обобщая имевшиеся к тому времени сведения о клетке, немецкий ботаник М.Я. Шлейден поставил вопрос о возникновении клеток в организме. Немецкий физиолог и цитолог Т. Шванн, основываясь на работах Шлейдена, в 1839 г. изложил основы клеточной теории: все ткани состоят из клеток, клетки растений и животных имеют общий принцип строения, так как образуются одинаковым способом; все клетки самостоятельны, а любой организм — это совокупность жизнедеятельности отдельных групп клеток.

Появление клеточной теории Шлейдена и Шванна обусловило дальнейшее развитие учения о клетке. Немецкий патолог Р. Вирхов доказал, что клетка является постоянной структурой, возникающей путем размножения себе подобных. Ему принадлежит афористическое утверждение: «Каждая клетка — из клетки». В конце XIX в. была высказана гипотеза, что наследственные свойства заключены в ядре. В 1892 г. И.И. Мечников открыл фагоцитоз (от греч. *phagos* — «пожиратель», *kytos* — «клетка») — активное захватывание и поглощение различных частиц одноклеточными организмами и даже клетками многоклеточного организма. В 1898 г. С.Г. Навашин открыл особый тип оплодотворения — двойное оплодотворение, свойственное всем цветковым растениям. В начале XX в. были разработаны методы культивирования клеток в пробирке и сконструирован первый электронный микроскоп. В результате учение о клетке обогатилось трудами генетиков о свойствах клетки, доказавших цитологическую основу передачи наследственных свойств.

Исследования ученых позволили сформулировать основные положения современной **клеточной теории**. Назовем эти положения: клетка — универсальная структурная единица живого; клетки размножаются путем деления (клетка от клетки); клетки хранят, перерабатывают, реализуют и передают наследственную информацию; клетка — это самостоятельная живая система (биосистема), отражающая определенный структурный уровень организации живой материи; многоклеточные организмы — это комплекс взаимодействующих систем различных клеток, обеспечивающих организму рост, развитие, обмен веществ и энергии; клетки всех организмов сходны между собой по строению, химическому составу и функциям.

Мир клеток живой природы чрезвычайно разнообразен. Клетки различаются по своей структуре, форме и функциям. Среди них есть свободноживущие клетки, которые ведут себя как особи популяций и видов, как самостоятельные организмы, жизнедеятельность которых зависит не только от слаженной работы внутриклеточных структур, но и от существования клетки как организма (добыча пищи и способ питания, размножение, подвижность в окружающей среде, активное и неактивное переживание неблагоприятных условий и пр.).

Свободноживущих одноклеточных организмов чрезвычайно много. Они входят во все царства живой природы и населяют все среды жизни на нашей планете.

У многоклеточного организма клетка является его частью. Из клеток образуются ткани и органы. Поэтому клетку называют основной структурной единицей организмов (рис. 4).

Размеры клеток варьируют от 0,1-0,25 мкм (некоторые бактерии) до 155 мм и 1,4 кг (яйцо страуса в скорлупе). Особенно большое разнообразие клеток наблюдается у эукариот (см. рис. 12).

Обычно у многоклеточных организмов разные клетки выполняют различные функции. Клетки, сходные по строению, расположенные рядом, объединенные межклеточным веществом и предназначенные для выполнения определенных (специализированных) функций в организме, образуют ткани. Ткани возникли в ходе эволюционного развития вместе с появлением многоклеточности, так как специализация клеток и, следовательно, тканей лучше обеспечивает процессы жизнедеятельности целостного организма.

Обычно у животных различают четыре типа (группы) тканей: эпителиальную, соединительную, мышечную и нервную. У растений типов тканей больше: покровная, ассимиляционная, проводящая, образовательная (меристема), запасающая, выделительная, воздухоносная и механическая. При этом в каждом типе ткани имеются разные варианты.



Рис. 4. Клетки свободноживущие (А) и входящие в ткани (Б)

Несмотря на большое разнообразие форм, клетки разных типов обладают сходством в главных структурных и функциональных особенностях. При этом

процессы жизнедеятельности (дыхание, биосинтез, обмен веществ) идут в клетках независимо от того, являются они одноклеточными организмами или составными частями многоклеточного организма.

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

Особенность клетки определяется специфичностью ее составных компонентов, упорядоченностью происходящих в ней как в целостной живой системе процессов. Каждая живая клетка осуществляет все процессы, от которых зависит ее жизнь: поглощает пищу, извлекает из нее энергию, избавляется от отходов обмена веществ, поддерживает постоянство своего химического состава и воспроизводит саму себя. Все это позволяет рассматривать клетку как особую единицу живой материи, как элементарную живую систему — биосистему клеточного уровня организации жизни.

Клетка — основная структурная и функциональная единица живых организмов.

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

Жизнь многоклеточного организма зависит от свойств и работы его клеток, от их взаимодействия между собой. При этом клетки функционируют, не вступая в конкуренцию друг с другом. Кооперация и специализация их функций в организме позволяют ему выжить в тех ситуациях, в которых одиночные клетки не выживают. У сложных многоклеточных организмов (растений, животных и человека) клетки организованы в ткани, ткани — в органы, органы — в системы органов. И каждая из этих систем представляет собой упорядоченную структуру, работающую на выполнение одной общей задачи — осуществление жизнедеятельности данного организма как целостности.

Состояние всего организма зависит от правильности функционирования всех его частей. Интеграция отдельных частей организма и процессов их жизнедеятельности является важным этапом в эволюции жизни. Клетка, появившись миллиарды лет назад, в процессе эволюции приобрела свойства биосистемы как формы живого. В течение последующих многих миллионов лет клетка не только усложнилась, но и стала входить в состав специализированных тканей, оказалась способной жить и активно функционировать в составе многоклеточных организмов, оставаясь основной структурной единицей жизни. При этом каждая живая клетка осуществляет размножение и передачу в этом процессе своей наследственной (генетической) информации, чем обеспечивает непрерывность жизни на Земле.

1. В чем сходство и различия клеток одноклеточных и многоклеточных организмов?

2. Сравните первоначальные и современные положения клеточной теории, отметьте принципиально новые открытия цитологии.

3*. Какие гипотезы науки о клетке вы считаете нужным включить в клеточную теорию?

§ 5 Химический состав клетки

При существующем в природе большом разнообразии клеток все они состоят из одних и тех же типов химических веществ, претерпевающих одинаковые превращения.

Живую клетку отличают две особенности: 1) в ней много воды, и поэтому все химические соединения (вещества) находятся в растворе; 2) в ней много сложных органических веществ.

Все клетки живых организмов сходны по химическому составу.

В клетках содержится более 70 химических элементов. Одни из них представлены в больших количествах (кислород, углерод, водород, азот, сера, железо, фосфор, кальций, калий и др.), их называют **макроэлементами**. Другие элементы, такие как марганец, медь, селен, кобальт, цинк, иод, никель, обнаруживаются в незначительном количестве, их называют **микроэлементами**. Несмотря на очень малое содержание, микроэлементы играют важную роль, так как влияют на обмен веществ в клетке.

Живая клетка характеризуется постоянством своего химического состава. Это постоянство обеспечивается особыми физиологическими механизмами и сохраняется при любых внешних воздействиях. Способность клетки сохранять устойчивость (стабильность) своего состава и, следовательно, свойств называется гомеостазом (от греч. *homoios*— «одинаковый» и *statis*— «состояние»).

В клетках содержатся неорганические и органические вещества (соединения).

Неорганические вещества клетки — это вода, различные минеральные соли, углекислый газ, кислоты и основания.

Вода является важнейшим компонентом содержимого живой клетки. Она составляет в среднем около 70% ее массы. Вода придает клетке упругость и объем, обеспечивает постоянство состава, участвует в химических реакциях и в построении органических молекул, делает возможным протекание всех процессов жизнедеятельности клетки. Вода является растворителем химических веществ, которые поступают в клетку и выводятся из нее.

Минеральные соли составляют всего 1-1,5% общей массы клетки, но роль их значительна. В растворенном виде они являются необходимой средой для химических процессов, обуславливающих жизнь клетки.

В клетках находится много разных *солей*. Животные с помощью выделительной системы удаляют из организма избыточные соли, а у растений они накапливаются и кристаллизуются в различных органоидах или в вакуолях. Чаще это бывают соли кальция. Их форма в клетках растений может быть различной: иглы, ромбы, кристаллики — одиночные или сросшиеся вместе (друзы) (рис. 5).

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

В органических соединениях важным элементом выступает *углерод*. Многочисленные превращения молекул и образование различных крупных молекул органических соединений происходят благодаря уникальному свойству углеродных атомов. Это свойство заключается в том, что атомы углерода, имеющие четыре валентные связи, способны в определенном порядке объединяться в длинные цепи и замкнутые кольцевые структуры. Эти углеродные цепи и кольца являются «скелетами» сложных органических молекул.

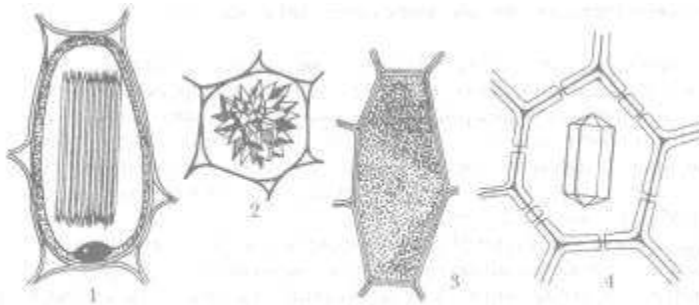


Рис. 5. Разновидности кристаллов солей кальция в клетках растений: 1 — игольчатые (недотрога); 2 — друза (опунция); 3 — кристаллический песок (картофель); 4 — одиночный кристалл (ваниль)

Благодаря углероду возможно образование таких сложных и разнообразных соединений, как органические вещества.

В клетках живых организмов синтезируются всевозможные большие и малые органические молекулы. Малые молекулы называют *мономерами* (от греч. *monos*— «один» и *meros*— «часть», «доля»). Мономеры, как строительные блоки, могут соединяться друг с другом, образуя *полимеры* (греч. *polys*— «многочисленный») (рис. 6). Все молекулы белков, жиров и нуклеиновых кислот являются полимерами, а углеводы могут быть и мономерами, и полимерами.

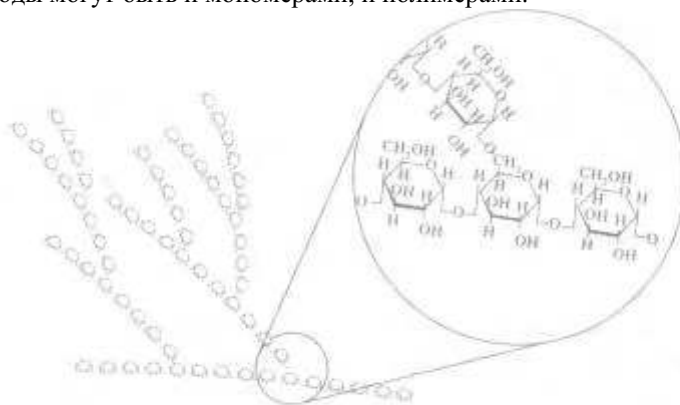


Рис. 6. Полимерная молекула гликогена, состоящая из множества молекул сахаров (мономеров)

Углеводы представляют собой органические вещества, в состав которых входят углерод, водород и кислород. Они выполняют в клетке различные функции: энергетическую (сахароза, глюкоза), защитную (целлюлоза), резервную (крахмал, гликоген), являются важнейшими компонентами органических веществ клетки и *имеются у всех без исключения живых организмов.*

В углеводах мономерами являются простые сахара, из них самые распространенные — рибозы (C₅) и гексозы (C₆). Их называют *моносахаридами*. Простые сахара, соединившись вместе, могут образовать дисахариды: сахарозу, мальтозу, лактозу. Например, сахароза, или тростниковый сахар, состоит из фруктозы и части молекулы глюкозы, а мальтоза (солодовый сахар) — из двух молекул глюкозы. Путем соединения многих моносахаридов образуются *полисахариды*, такие как гликоген, крахмал, целлюлоза.

Моносахариды и дисахариды обладают сладким вкусом и обычно хорошо растворяются в воде. Полисахариды в воде почти не растворяются, безвкусны.

Липиды — это нерастворимые в воде вещества, в состав которых входят части молекул глицерина и трех жирных кислот.

Липиды представлены в клетках в виде жиров, восков и других жироподобных веществ. Их биологическая роль многообразна. Липиды входят в состав клеточной мембраны, влияют на проницаемость клеток и активность ферментов, участвуют в передаче нервных импульсов, выполняют энергетическую функцию и другие.

Без липидов, так же как без воды и углеводов, жизнь клетки невозможна.

Жиры могут быть твердыми (животного происхождения) и жидкими (масла). Расщепление 1 г жира сопровождается выделением 9,3 ккал энергии. Запасание питательных веществ в виде жиров оказывается наиболее энергетически выгодным. Жир плохо проводит тепло, поэтому, например, у многих животных подкожная жировая прослойка обеспечивает не только питание, но и сохранение тепла, защиту органов от механических повреждений.

Для жизнедеятельности клетки и всего организма необходимы и другие органические вещества — *белки и нуклеиновые кислоты*.

1. Поясните, почему углерод особенно важен в жизни клетки.

2. Замените выделенные слова одним словом.

- *Неорганическое вещество, широко распространенное в природе, — важный химический компонент клетки.*

- *Малые молекулы органических веществ образуют в клетке сложные молекулы.*

3*. Расскажите, как образуются полимерные молекулы органических веществ.

§ 6 Белки и нуклеиновые кислоты

Из всех органических веществ основную массу в клетке (50-70%) составляют белки. Оболочка клетки и все ее внутренние структуры построены с участием молекул белков.

Белки — это сложные органические вещества, выполняющие в клетке важные функции. Они представляют собой гигантские полимерные молекулы, мономерами которых являются аминокислоты.

В природе известно более 150 различных аминокислот, но в построении белков живых организмов обычно участвуют только 20. Благодаря особенностям своего химического строения аминокислоты способны соединяться друг с другом, образуя так называемую первичную структуру белка. *Уникальность (специфичность) белка* определяется именно последовательностью соединения определенных аминокислот.

Молекулы белков могут образовывать не только первичную структуру, но и вторичную, третичную и четвертичную. Рассмотрим возможные структуры белков на примере гемоглобина (рис. 7). Длинная нить последовательно присоединенных друг к другу аминокислот представляет *первичную структуру* молекулы белка (она отображает его химическую формулу). Обычно эта длинная нить туго скручивается в спираль, витки которой прочно соединены между собой водородными связями. Спирально скрученная нить молекулы — это *вторичная структура молекулы* белка. Такой белок уже трудно растянуть. Свернутая в спираль молекула белка затем скручивается в еще более плотную конфигурацию — *третичную структуру*. В результате такого многократного скручивания длинная и тонкая нить молекулы белка становится короче, толще и собирается в компактный комочек — *глобулу*. Только

глобулярный белок выполняет в клетке свои функции. У некоторых белков встречается еще более сложная форма — *четвертичная структура*.

Если нарушить структуру белка, например нагреванием или химическим воздействием, то он теряет свои качества и раскручивается. Этот процесс называется *денатурацией*. Если денатурация затронула только третичную или вторичную структуру, то она обратима: белок может снова закрутиться в спираль и уложиться в третичную структуру (явление *ренатурации*). При этом восстанавливаются функции данного белка. Это важнейшее свойство белков лежит в основе раздражимости живых систем, т. е. способности живых клеток реагировать на внешние или внутренние раздражители.

Многие белки выполняют роль *катализаторов*, которые ускоряют химические реакции, проходящие в клетке, и упорядочивают протекающие в ней процессы. Их называют *ферментами*. Ферменты участвуют в переносе атомов и молекул, в

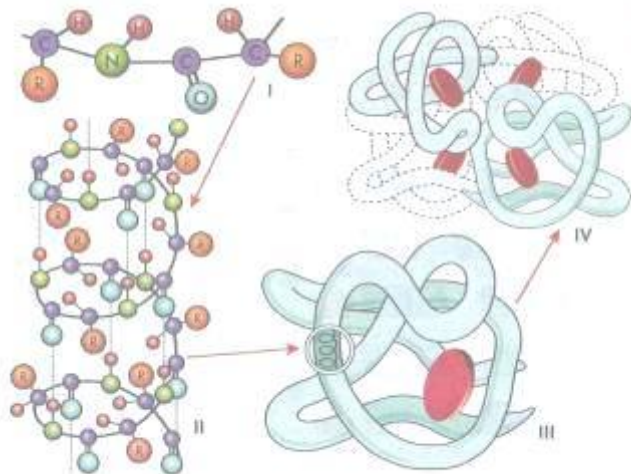


Рис. 7. Структурная организация белка: I — первичная структура; II — вторичная структура; III — третичная структура; IV — четвертичная структура

расщеплении и построении белков, жиров, углеводов и всех других соединений (т. е. в клеточном обмене веществ). Ни одна химическая реакция в живых клетках и тканях не обходится без участия ферментов.

Белки выполняют в клетке множество функций: ферментативную, транспортную, структурную, защитную и другие. Без белков жизнь клетки невозможна.

Нуклеиновые кислоты впервые были обнаружены в ядрах клеток, в связи с чем и получили свое название (лат. *nucleus* — «ядро»). Есть два вида нуклеиновых кислот: дезоксирибонуклеиновая кислота (сокращенно ДНК) и рибонуклеиновая кислота (РНК). Молекулы нуклеиновых кислот представляют собой очень длинные полимерные цепочки (тяжи), мономерами которых являются *нуклеотиды* (рис. 8, а). Каждый нуклеотид состоит из азотистого основания, моносахарида (рибозы или дезоксирибозы) и остатков фосфорной кислоты (от одного до трех). Азотистыми основаниями у ДНК являются *аденин, гуанин, цитозин и тимин* (рис. 8, б). У РНК место тимина занимает *урацил*.

Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) — важнейшее вещество в живой

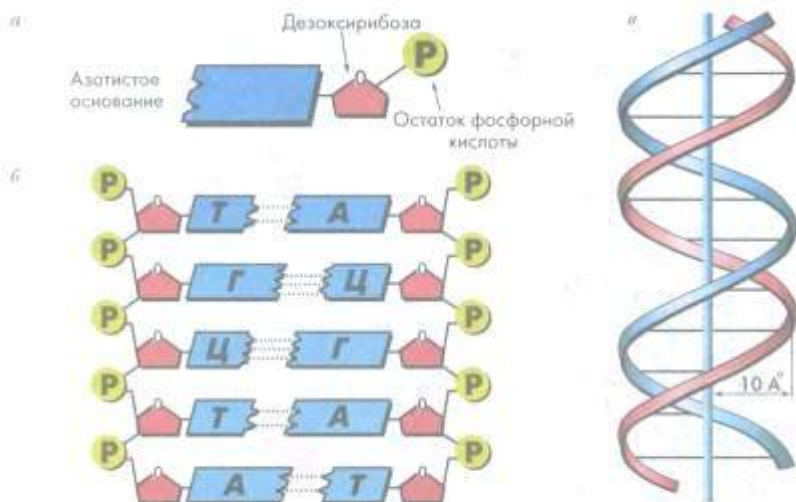


Рис. 8. Строение ДНК: а — схема строения нуклеотида; б — схема строения участка структуры молекулы ДНК; в — двойная спираль ДНК

клетке. Молекула ДНК является носителем наследственной информации клетки и организма в целом. В клетках организмов каждого биологического вида определенное количество молекул ДНК на клетку. Последовательность нуклеотидов в молекуле ДНК всегда строго индивидуальна и неповторима для каждого биологического вида.

Молекулы ДНК у всех эукариот находятся в ядре клетки и в органоидах — митохондриях и пластидах. У прокариот ядра нет, поэтому у них ДНК располагается в цитоплазме.

У всех живых существ молекулы ДНК построены по одному и тому же типу. Они состоят из двух *полинуклеотидных цепочек*, скрученных в виде двойной спирали в направлении слева направо (рис. 8, в). При этом азотистые основания обращены внутрь спирали и скреплены между собой водородными связями (наподобие застёжки «молния»), а дезоксирибозы и остатки фосфорной кислоты находятся на внешней стороне двойной спирали.

Последовательность расположения нуклеотидов в молекуле ДНК определяет наследственную информацию клетки.

Структуру молекулы ДНК раскрыли в 1953 г. американский биохимик Д. Уотсон и английский физик Ф. Крик. За это открытие ученые были удостоены в 1962 г. Нобелевской премии. Они доказали, что молекула ДНК состоит из двух полинуклеотидных цепей. При этом нуклеотиды (мономеры) соединяются друг с другом не случайно, а избирательно и парами посредством соединения азотистых оснований. Аденин (А) *всегда* стыкуется с тиминном (Т), а гуанин (Г) — с цитозином (Ц). Эта двойная цепь туго закручена в спираль. Способность нуклеотидов к избирательному соединению в пары называется *комплементарностью* (лат. *complementus* — «дополнение»). Схематически расположение нуклеотидов в молекуле ДНК можно изобразить так:



На свойстве
комплементарности основана
способность молекулы ДНК
удваиваться. Процесс удвоения
ДНК называется *репликацией* (лат.

replicatio — «повторение»).

Репликация происходит следующим образом. При участии специальных клеточных механизмов (ферментов) двойная спираль ДНК раскручивается, нити расходятся (наподобие того, как растягивается «молния»), и постепенно к каждой из двух цепочек достраивается комплементарная ей половина из соответствующих нуклеотидов. В результате вместо одной молекулы ДНК образуются две новые одинаковые молекулы. При этом каждая вновь образованная двухцепочная молекула ДНК состоит из одной «старой» цепочки нуклеотидов и одной «новой». Поскольку ДНК является основным носителем информации, то ее способность к удвоению позволяет при делении клетки передавать эту наследственную информацию во вновь образующиеся дочерние клетки.

Рибонуклеиновая кислота (РНК) похожа по строению на ДНК, но ее молекулы состоят только из одной цепочки. Среди азотистых оснований в нуклеотидах вместо тимина (Т) присутствует *урацил* (У) и вместо дезоксирибозы — углевод (*рибоза*). Молекулы РНК находятся в ядре, цитоплазме и некоторых органоидах клетки.

Значение молекулы РНК в жизни клетки огромно. Она служит посредником между ДНК и синтезируемыми белками, участвуя в процессе сборки мономеров в полимер.

По выполняемым функциям различают соответствующие типы РНК. Информационные РНК (иРНК) содержат информацию о первичной структуре белков. Транспортные РНК (тРНК) переносят аминокислоты к месту синтеза белка. Рибосомные РНК (рРНК) содержатся в мельчайших органоидах клетки — рибосомах. Все эти РНК участвуют в синтезе белков.

Нуклеиновые кислоты играют важнейшую биологическую роль в клетке: молекулы ДНК хранят наследственную информацию, а молекулы РНК участвуют в процессах, связанных с передачей генетической информации от ДНК к белку.

Нуклеиновые кислоты являются обязательными компонентами не только всех живых клеток, но и вирусов.

1. Какие функции в клетке выполняют белки? нуклеиновые кислоты? 2*. Поясните, по каким основаниям определяется близость (родство) организмов и их видов.

3*. Назовите в каждой строке лишний термин.

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

§ 7 Строение клетки

Любая клетка имеет очень сложное строение (рис. 9). Содержимое клетки, а также многих внутриклеточных структур ограничивают **биологические мембраны** (лат. *membrana* — «кожица», «пленка») — тончайшие пленки (3,5- 10 нм толщиной), состоящие в основном из белков и липидов.

Цитоплазматическая (или клеточная) мембрана отделяет от внешней среды содержимое клетки и осуществляет ее взаимодействие с внешней средой, а также с соседними клетками. Через мембрану в клетку поступают питательные вещества и

выделяются ненужные продукты обмена. Она полупроницаема. Главные химические компоненты, образующие цитоплазматическую мембрану, — белки, сложные липиды и гликопротеиды. Они выполняют роль барьера, обеспечивая избирательное проникновение веществ из внешней и внутренней среды. Мембраны не образуются заново, а «собираются» из уже имеющихся путем добавления и приращивания недостающих частей. С участием мембран осуществляются контакты между клетками.

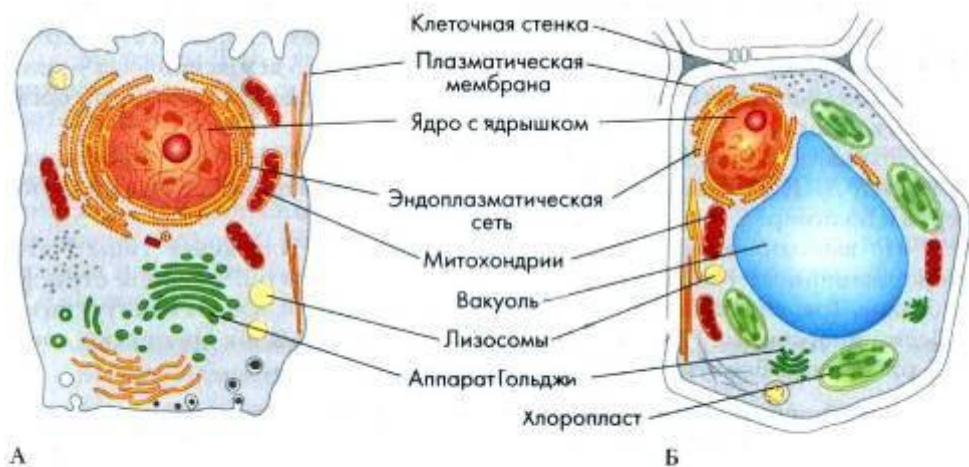


Рис. 9. Обобщенные схемы животной (А) и растительной (Б) клеток

У клеток растений, грибов и бактерий цитоплазматическая мембрана снаружи покрыта **клеточной стенкой**. У клеток животных клеточной стенки нет.

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

Под мембраной находятся две важные части клетки — **цитоплазма** и **ядро**. В цитоплазме находятся **органойды** (или **органеллы**) и **включения**.

Цитоплазма — это полувязкая внутренняя среда клетки. Цитоплазма постоянно движется, перетекает внутри живой клетки, перемещая вместе с собой различные вещества, включения и органойды. В ней проходят все процессы обмена веществ. В состав цитоплазмы входят все виды органических и неорганических веществ. В ней присутствуют также нерастворимые отходы обменных процессов и запасные питательные вещества.

Цитоплазма способна к росту и воспроизведению, при частичном удалении может восстановиться. Однако нормально функционирует цитоплазма только в присутствии ядра. Без него долго существовать цитоплазма не может, так же как и ядро без цитоплазмы.

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

Ядро имеется в клетках многих одноклеточных и всех многоклеточных организмов. Как правило, в клетках имеется одно ядро, но бывают и многоядерные клетки. Ядро клетки — это плотное тельце, часто овальной формы. Оно заполнено

густым ядерным веществом — *кариоплазмой* (греч. *karyon* — «ядро»). От цитоплазмы ядро отделено двухслойной *ядерной мембраной*. Через многочисленные поры в мембране происходит обмен молекулами между ядром и цитоплазмой. В ядре имеется одно или несколько *ядрышек*, связанных с синтезом РНК.

Кроме ядрышек в ядре находятся *хромосомы*, образованные двухцепочечными молекулами ДНК и белками. Хромосомы являются носителями генов, определяющих наследственные свойства клетки и организма в целом. *Ген* представляет собой участок молекулы ДНК с определенной последовательностью нуклеотидов.

Наследственная информация (ДНК), заключенная в хромосомах ядра, с помощью РНК и ферментов управляет всеми процессами, протекающими в клетке: биохимическими, физиологическими, морфологическими, синтезом и распадом веществ.

Ядро — центр управления процессами, происходящими в клетке.

Включения — непостоянные структурные компоненты клетки. В отличие от органоидов включения то появляются, то исчезают в клетке в процессе ее жизнедеятельности.

Органоиды (от греч. *organon* — «орган» и *eidos* — «вид») — постоянные структурные компоненты, которые выполняют жизненно важные для клетки функции.

Части клетки, взаимодействуя между собой, образуют целостное единство, т. е. биосистему.

У многих одноклеточных и некоторых многоклеточных организмов в клетке нет оформленного ядра, но есть ДНК-содержащая зона, которая называется *нуклеоидом* (от лат. *nucleus* — «ядро» и греч. *eidos* — «вид»), т. е. похожим на ядро. Обычно нуклеоид прикреплен к внутренней части мембраны, но он не ограничен мембранами от цитоплазмы. Это свойственно прокариотам.



Рис. 10. Разнообразие форм клеток эукариот — растений и животных

Клетки, не имеющие оформленного ядра, называют *прокариотическими* (от лат. *pro* — «перед», «раньше» и греч. *karyon* — «ядро»), а имеющие ядро — *эукариотическими* (от лат. *eu* — «полностью», «хорошо» и греч. *karyon* — «ядро»). На этом основании все организмы разделяются на **прокариот** и **эукариот**. К прокариотам относятся бактерии (включая цианобактерий) и архебактерии.

Прокариотические клетки присущи древним одноклеточным организмам, а эукариотические возникли позже в процессе эволюции. Эукариоты — это растения, животные и грибы.

Клетки прокариот имеют достаточно простое строение, так как сохраняют черты первых организмов, возникших на Земле. Клетки эукариот имеют более сложное строение.

Форма клеток бывает разной (рис. 10, 11), что зависит от выполняемых клетками функций. У эукариот молекулы ДНК имеют линейное строение. У прокариот молекула ДНК всегда одна и образует кольцо.



Рис. 11. Разнообразие форм клеток прокариот — бактерий (1) и цианобактерий (2)

Особую, неклеточную форму жизни представляют собой вирусы. Эти организмы, выделяемые в особое царство Вирусы, имеют очень простое строение. Каждая вирусная частица содержит молекулу нуклеиновой кислоты (РНК или ДНК), окруженную белковой оболочкой. Отличительная особенность вирусов — способность размножаться только в живых клетках (рис. 12). Проникая в клетку, вирус нарушает ее генетический аппарат таким образом, что клетка начинает производить вирусную нуклеиновую кислоту и вирусные белки. Вирусы являются возбудителями многих болезней растений, грибов, животных и человека. Они вызывают такие заболевания, как гепатит, полиомиелит, оспа, грипп, ячур и др.

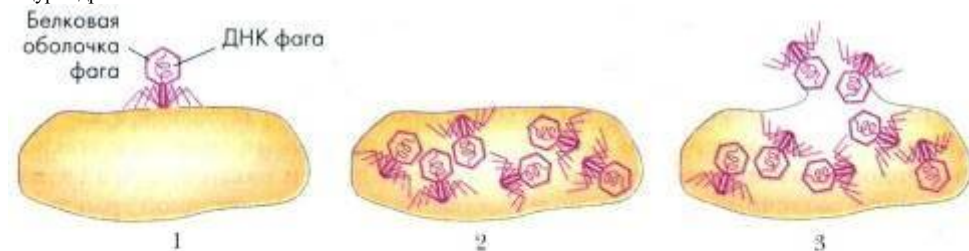


Рис. 12. Схема заражения клетки бактерии вирусом — бактериофагом (фагом): 1 — фаг внедряет свою ДНК в бактерию; 2 — в бактерии образуются новые фаги; 3 — фаги выходят наружу через разрыв оболочки погибшей бактерии

1. Почему цитоплазму называют внутренней средой клетки?
- 2*. Как осуществляется управление процессами жизнедеятельности в клетках прокариот, у которых нет ядра?
3. Попробуйте сформулировать ответ кратко.
 - Молекула белка — полимер. А что представляет собой молекула ДНК и РНК?
 - По какому признаку организмы делят на прокариот и эукариот?

§ 8 Органоиды клетки и их функции

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

Большинство внутриклеточных структур принадлежит к *мембранным органоидам*, у которых содержимое отделено от цитоплазмы биологическими мембранами. К ним относятся эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, митохондрии, лизосомы, пластыды. *Немембранными органоидами*, которые образованы без участия мембран, являются рибосомы, микротрубочки, клеточный центр. Все названные органоиды имеются в клетках эукариот. В клетках прокариот содержатся лишь рибосомы. Рассмотрим кратко строение и функции органоидов.

Мембранные органоиды

Эндоплазматическая сеть — это сложная система в виде трубочек, мешочков, плоских цистерн разных размеров. Они объединены в единую замкнутую полость и отграничены от содержимого цитоплазмы биологической мембраной, образующей многочисленные складки и изгибы. Из плоских цистерн в клетках растений образуются *вакуоли*.

Эндоплазматическая сеть разделяет цитоплазму на отдельные отсеки, в которых одновременно могут проходить различные химические процессы, не мешая друг другу. Различают шероховатую и гладкую эндоплазматическую сеть. «Шероховатость» вызвана многочисленными рибосомами, усеивающими поверхность мембран, где происходит процесс синтеза белков в клетке. Гладкая эндоплазматическая сеть синтезирует различные липиды и углеводы. Эндоплазматическая сеть не только синтезирует и накапливает в своих цистернах различные вещества, но и участвует в их внутриклеточной транспортировке.

Комплекс Гольджи состоит из цистерн, трубчатых структур, вакуолей и транспортных пузырьков. В клетке может быть один комплекс или несколько. Его основная функция — накопление и «упаковка» химических соединений, синтезируемых в клетке. Комплекс Гольджи взаимодействует с эндоплазматической сетью, получая от нее новообразованные белки и другие выделяемые клеткой вещества. В структурах комплекса Гольджи эти вещества накапливаются, сортируются и могут долгое время храниться в цитоплазме как запас, пока клетка их не потребует.

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

Обычно лизосомы сливаются с вакуолью, содержащей пищевые частицы. В результате в клетке образуется так называемая пищеварительная вакуоль. В ней и происходит переваривание. Ферменты, встречающиеся в лизосомах, способны разрушить практически любые природные полимерные органические соединения. При помощи лизосом разрушаются отмирающие части клетки или различные чужеродные вещества, проникшие в клетку. Они могут участвовать в удалении целых клеток, межклеточного вещества, органа или его частей (например, разрушение хвоста у головастика, разрушение тканей в очаге воспаления).

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

Пластида (греч. *plastides* — «создающий») — органоид, свойственный только растительным клеткам. Различают три вида пластид в зависимости от окраски: зеленые — *хлоропласты*, желтые и оранжевые — *хромoplastы* и бесцветные — *лейкопласты*. Цвет пластид придает характерную зеленую или красно-желтую окраску клетке и органам растений. Зеленый цвет хлоропластов обуславливает пигмент *хлорофилл* — главный фотосинтезирующий пигмент. В хлоропластах на свету осуществляется процесс фотосинтеза. По строению пластиды сходны с митохондриями — они также окружены двойной мембраной, причем внутренняя образует много складчатых выростов, собранных в стопки — *граны*. Как и митохондрии, пластиды содержат собственную ДНК и способны к делению.

Немембранные органоиды

Рибосома (от «рибонуклеиновая кислота» и греч. *soma* — «тело») — органоид, выполняющий «сборку» полимерной молекулы белка. Количество рибосом в клетке огромно — от 10 тысяч у прокариот до многих сотен тысяч у эукариот. Каждая рибосома образуется из двух частей (субъединиц) — большой и малой, состоящих из четырех молекул РНК и нескольких молекул белков. У эукариот рибосомы встречаются не только в цитоплазме, но и в митохондриях и хлоропластах. Функция рибосом — синтез белка. Обычно они объединяются в группы, так называемые *полисомы* (греч. *polys* — «многочисленный»).

Микротрубочка — полая цилиндрическая структура. Микротрубочки поддерживают форму клетки — создают цитоскелет. Они связаны с цитоплазматической и ядерной мембранами, обеспечивают движение внутриклеточных структур. Кроме того, микротрубочки входят в состав органоидов движения — *ресничек* и *жгутиков*, характерных для некоторых клеток (например, инфузорий, сперматозоидов). Они также входят в состав *клеточного центра*, играя важную роль в клеточном движении: «растаскивают» хромосомы в ходе деления клетки.

Несмотря на свои чрезвычайно малые размеры, клетка является сложной биологической системой. Типичной клетки не существует, но у всего многообразия клеток много общего.

Сравнивая клетки растений, животных и бактерий, можно увидеть их общие черты (см. рис. 10, 11).

1. Поясните, почему органоиды называют специализированными структурами клетки.

2*. Докажите, что клетка — это элементарная живая система (биосистема).

3*. Вы узнали, что клеткам эукариот и прокариот свойственны сходные черты. О чем свидетельствует этот факт?

Лабораторная работа № 1 (см. Приложение, с. 229).

§ 9 Обмен веществ — основа существования клетки

Для изучения клетки под микроскопом обычно ее фиксируют, окрашивают. На приготовленном микропрепарате рассматривают уже неживую клетку, поэтому создается впечатление, что все структурные части клетки неподвижны, статичны, а это не соответствует действительности. На самом деле в живой клетке все находится в движении: движется цитоплазма, увлекая за собой многие органоиды, вещества и включения; активно работают рибосомы и митохондрии, совершается множество

химических превращений. Во всех этих процессах жизнедеятельности накапливается, тратится и преобразуется энергия. Из окружающей среды в клетку поступают различные вещества, а из клетки в окружающую среду удаляются ненужные продукты обмена. Так осуществляется **обмен веществ**, или **метаболизм** (греч. *metabole*— «превращение»).

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

Обмен веществ складывается из двух взаимосвязанных процессов — *анаболизма* и *катаболизма*.

Анаболизм (греч. *anabole*— «подъем»), или **ассимиляция** (лат. *assimilatio* — «слияние», «усвоение»), — совокупность химических процессов, направленных на образование и обновление структурных частей клеток. Поэтому анаболизм еще называют *пластическим обменом*. В ходе анаболизма происходит биосинтез сложных молекул из простых молекул-предшественников или из молекул веществ, поступивших из внешней среды. Важнейшими процессами анаболизма являются синтез белков и нуклеиновых кислот (свойствен всем организмам) и синтез углеводов (у растений, некоторых бактерий и цианобактерий).

Пластический обмен особенно интенсивно происходит в периоды роста организмов: в молодом возрасте у животных — при формировании потомства, а у растений — в течение вегетационного периода. При этом биосинтезирующие реакции характеризуются видовой и индивидуальной специфичностью. Например, клетки растений синтезируют для клеточной стенки сложный полисахарид — целлюлозу, клетки наружных покровов членистоногих синтезируют тоже полисахарид, но другой — хитин; в клетках наружных покровов многих позвоночных животных образуется роговое вещество, основу которого составляет белок кератин.

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

В процессе анаболизма с образованием сложных молекул идет накопление энергии, главным образом, в виде химических связей. Поступление этой энергии в большинстве случаев обеспечивается реакциями биологического окисления веществ клетки — реакциями катаболизма.

Катаболизм (греч. *katabole* — «сбрасывание», «разрушение»), или **диссимиляция**, — совокупность реакций, в которых происходит распад органических веществ с высвобождением энергии. При разрыве химических связей молекул органических соединений энергия высвобождается и запасается, главным образом, в виде молекул *аденозинтрифосфорной кислоты* (АТФ), т. е. *аденозинтрифосфата*. Синтез АТФ у эукариот происходит в митохондриях и хлоропластах, а у прокариот — в цитоплазме, на мембранных структурах.

Катаболизм обеспечивает все биохимические процессы в клетке энергией, поэтому его еще называют энергетическим обменом.

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

Аденозинтрифосфорная кислота, или АТФ, — это нуклеотид, содержащий аденин, рибозу и трифосфат (три остатка фосфорной кислоты) (рис. 13).

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

Как происходит выделение энергии в клетке? Отделение от АТФ одного концевой фосфата (Ф) сопровождается выделением 40 кДж на 1 моль, тогда как при разрыве химических связей других соединений выделяется 12 кДж. Образовавшаяся при этом молекула *аденозиндифосфата* (АДФ) с двумя фосфатными остатками может быстро восстановиться до АТФ или, при необходимости отдав еще один концевой фосфат, превратиться в *аденозинмонофосфат* (АМФ).

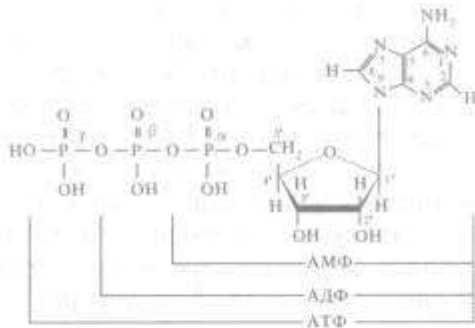
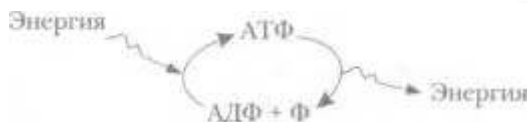


Рис. 13. Структурные формулы АМФ, АДФ, АТФ



Пара АТФ/АДФ служит основным механизмом выработки энергии в клетке. Присоединение фосфорных остатков к АМФ и АДФ сопровождается накоплением (аккумуляцией) энергии, а их отщепление от АТФ и АДФ приводит к выделению энергии. Благодаря богатым энергией химическим связям в молекулах АТФ клетка способна накапливать много энергии и расходовать ее по мере надобности на все жизненные процессы клетки и организма в целом.

1. Поясните, в каком виде накапливается энергия в клетках.
2. Что произойдет с клеткой, если при метаболизме будет превалировать анаболизм или катаболизм?
- 3*. Клетка — это биосистема. Охарактеризуйте процессы, которые обеспечивают ее целостность.

§ 10 Биосинтез белков в живой клетке

Каждая живая клетка создает (синтезирует) составляющие ее вещества. Этот процесс называют **биосинтезом**. Биосинтез (от греч. *bios* — «жизнь» и *synthesis* — «соединение») — образование органических веществ, происходящее в живых клетках с помощью ферментов и внутриклеточных структур.

Биосинтез, осуществляемый в процессе обмена веществ, всегда идет с потреблением энергии. Биосинтез, например, простых углеводов у зеленых растений происходит за счет энергии света. Биосинтез белков идет с потреблением энергии химических связей в органических веществах.

Главным поставщиком энергии для биосинтеза служит аденозинтрифосфорная кислота (АТФ). Ферменты, отщепляя остатки фосфорной кислоты от молекул АТФ, обеспечивают выделение энергии и тем создают возможность ее использования для биосинтеза.

В биосинтезе молекул белка участвуют разные аминокислоты, многочисленные ферменты, рибосомы и разные РНК (рРНК — рибосомная, тРНК — транспортная и иРНК — информационная). Процесс биосинтеза молекул белка осуществляется в рибосомах.

Характер биосинтеза определяется наследственной информацией, закодированной в определенных участках ДНК хромосом — в *генах*. Гены содержат информацию об очередности аминокислот того или иного синтезируемого белка, иными словами, кодируют его первичную структуру. Молекулы иРНК передают этот код для биосинтеза.

Схематически процесс биосинтеза можно представить так:

ДНК → иРНК → белок.

Перенос генетической информации в виде копий ДНК из ядра в рибосому осуществляет информационная РНК.

Этот процесс происходит в ядре. Благодаря действию ферментов участок ДНК раскручивается, и вдоль одной из цепей по принципу комплементарности, т. е. избирательного соответствия, выстраиваются нуклеотиды. Соединяясь между собой, они образуют полинуклеотидную цепочку иРНК (рис. 14).

После этого происходит так называемое созревание, когда с участием ферментов вырезаются внутренние участки молекулы, а оставшиеся фрагменты «сшиваются» в одну линейную структуру. В результате образуется иРНК.

При этом разные ферменты способны вырезать разные участки РНК, и таким образом образуются разные иРНК.

Смысл созревания иРНК заключается в том, что на основе информации одного гена возможен синтез нескольких иРНК, а в дальнейшем и разных белков.

Образовавшаяся таким образом новая информационная цепь иРНК оказывается точной копией генетической информации, «списанной» с ДНК как с матрицы. Этот процесс называется *транскрипцией* (лат. *Transcriptio* — «переписывание»).

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

Образовавшаяся иРНК выходит из ядра в цитоплазму через поры в ядерной оболочке и вступает в контакт с многочисленными рибосомами.

Рибосома — уникальный «сборочный аппарат». Рибосома скользит по иРНК как по матрице и в строгом соответствии с последовательностью расположения ее нуклеотидов выстраивает определенные аминокислоты в длинную полимерную цепь белка. Порядок аминокислот в этой цепи соответствует генетической информации, скопированной («списанной») с определенного участка ДНК. «Считывание» информации с иРНК и создание при этом полимерной цепи белка называется *трансляцией* (лат. *Translatio* — «передача»). В процессе трансляции информация о строении будущего белка, записанная в виде последовательности нуклеотидов в молекулах иРНК, переводится с нуклеотидного кода в последовательность аминокислот в синтезируемых белках. Трансляция («считывание») происходит в цитоплазме клетки.



Рис. 14. Схема образования иРНК по матрице ДНК

«Считывание» (трансляция) генетической информации с иРНК и создание (сборка) полимерной цепи на рибосомах — второй этап биосинтеза белка.

Аминокислоты доставляются к рибосомам с помощью транспортных РНК (тРНК), которые, находясь в цитоплазме в свободном состоянии и в большом количестве, обеспечивают создание полимерной молекулы белка (рис. 15).

Для каждой аминокислоты требуется своя тРНК, комплементарная определенному участку иРНК. Такой участок всегда представлен триплетом — сочетанием трех нуклеотидов, называемым *кодоном*. В свою очередь, и каждая аминокислота, входящая в белок, тоже закодирована определенным сочетанием трех нуклеотидов (антикодон), по которым они и находят друг друга.



Рис. 15. Схема биосинтеза белка в живой клетке

Например, рибосома, «прочитав» последовательность триплета нуклеотидов иРНК: урацил—урацил—урацил, присоединяет к синтезируемому белку аминокислоту фенилаланин, доставленную тРНК с такой последовательностью нуклеотидов: аденин—аденин—аденин, затем другие три нуклеотида определяют следующую присоединяемую аминокислоту и так далее — до завершения сборки каждой молекулы белка. Многие

аминокислоты кодируются не одним, а несколькими триплетами. В то же время, известны три триплета, которые не кодируют ни одной аминокислоты. Эти триплеты прерывают синтез белковой цепочки. Изменение последовательности нуклеотидов (мутация) может привести к изменению аминокислот в белке. Такой белок приобретает новые свойства и может оказывать значительное влияние на жизнедеятельность организма — как положительное, так и отрицательное.

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

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

Генетический триплетный код биосинтеза молекул белка был расшифрован в 1965 г. Из 4 типов нуклеотидов можно составить 64 триплетных сочетания. В построении белков участвует всего 20 аминокислот. Но генов в ДНК хромосом очень много, поэтому в клетке может синтезироваться много различных белков. Значительная их часть — ферменты.

Процесс биосинтеза молекул белков осуществляется только в живой клетке.

1. Охарактеризуйте функции различных видов РНК в биосинтезе.
- 2*. Какова роль цитоплазмы в биосинтезе белка?
3. Исправьте ошибку в утверждении.
 - Транскрипция завершает процесс синтеза белка в клетке.

§ 11 Биосинтез углеводов — фотосинтез

Биосинтез белка создает полимерную молекулу из готовых мономеров — аминокислот, уже имеющихся в клетке. Этот процесс осуществляется за счет внутренней энергии клетки (АТФ).

Биосинтез углеводов идет принципиально иначе. В клетках растений момеры — моносахариды — образуются из неорганических веществ (углекислого газа и воды). Осуществляется этот процесс с помощью энергии света, поступающей в клетку из внешней среды. Этот процесс называют **фотосинтезом** (от греч. *photos* — «свет» и *synthesis* — «соединение»).

Созданные в клетке моносахариды (глюкоза, фруктоза) как первичные продукты фотосинтеза используются затем для биосинтеза различных полисахаридов, сложных белковых соединений, жирных кислот, нуклеиновых кислот и многих других органических соединений.

Фотосинтез — процесс, чрезвычайно важный для всего живого населения планеты. Он происходит в клетках зеленых растений с помощью пигментов (*хлорофилла* и других), находящихся в пластидах.

Хлоропласты — это внутриклеточные органоиды (пластиды), которые благодаря пигменту хлорофиллу окрашены в зеленый цвет. В растительной клетке обычно содержится от 15 до 50 хлоропластов.

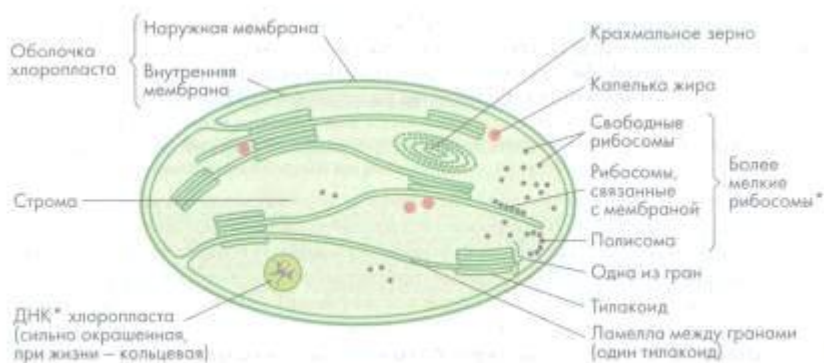


Рис. 16. Строение хлоропласта. На рисунке для удобства рассмотрения изображен не весь мембранный аппарат тилакоидов хлоропласта. Звездочкой помечены структуры, схожие со структурами клеток прокариот

Хлоропласты имеют сложное строение. От цитоплазмы они отделены двойной мембраной, обладающей избирательной проницаемостью. Полость хлоропласта — *строма* (греч. *stroma* — «подстилка», «ковёр») представляет собой белковое образование. Внутренняя мембрана хлоропласта, врастая внутрь стромы, создает мешковидные уплощенные структуры — *тилакоиды* (рис. 16)

Тилакоиды заполнены жидкостью. На мембранах тилакоида размещаются молекулы хлорофилла и других вспомогательных пигментов (каротиноиды). Поэтому их называют *фотосинтезирующими мембранами*. Местами тилакоиды, связанные между собой в цепочку плоских мешочков (дисков), располагаются друг над другом (как стопка монет). Такие стопки называют *гранами*. Число гран в хлоропластах у разных растений различно: от 40 до 150. Все граны хлоропласта обычно соединены между собой *ламеллами* — одиночными пластинчатыми тилакоидами.

Фотосинтез — сложный многоступенчатый процесс. Начало ему задает свет. Многолетние исследования фотосинтеза показали, что он включает в себя две стадии: световую и темновую.



Первая стадия фотосинтеза — световая. Под действием энергии света молекулы хлорофилла (и других соединений, называемых переносчиками) возбуждаются

и теряют электроны. Часть электронов, захваченных ферментами, способствует образованию АТФ путем присоединения остатка фосфорной кислоты (Ф) к АДФ. Другая часть электронов принимает участие в расщеплении (разложении) воды на молекулярный кислород, ионы водорода и электроны. Разложение воды происходит внутри хлоропласта.

Образовавшийся при расщеплении воды водород с помощью электронов присоединяется к веществу, способному транспортировать водород в пределах хлоропласта. Таким веществом является сложное органическое соединение из группы ферментов — окисленный *никотинамидадениндинуклеотидфосфат*, или НАДФ. Присоединив водород, НАДФ восстанавливается до НАДФ • Н. В такой химической связи запасается энергия, и заканчивается первая стадия фотосинтеза.



Участие энергии света здесь является обязательным условием. Поэтому

данную стадию называют еще *стадией световых реакций*.

Кислород, образующийся на первой стадии фотосинтеза как побочный продукт при расщеплении воды, выводится наружу или используется клеткой для дыхания.

Вторая стадия фотосинтеза — темновая. Здесь используются образовавшиеся в процессе световых реакций продукты. С их помощью происходит преобразование углекислого газа в простые углеводы — моносахариды. Их создание идет путем большого количества реакций восстановления CO_2 за счет энергии АТФ и восстановительной возможности НАДФ • Н. В результате этих реакций образуются молекулы глюкозы ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), из которых путем полимеризации создаются полисахариды — целлюлоза, крахмал, гликоген и другие сложные органические соединения. Поскольку все реакции на этой стадии идут без участия света, ее называют *стадией темновых реакций*.

Все световые реакции (первая стадия фотосинтеза) происходят на мембранах хлоропласта — в тилакоидах, а темновые (вторая стадия фотосинтеза) — между мембранами внутри хлоропласта — в строме (рис. 17).

Сложный поэтапный процесс фотосинтеза идет непрерывно, пока зеленые клетки получают световую энергию.

На скорость фотосинтеза влияют внешние условия среды: интенсивность освещения, концентрация углекислого газа и температура. Если эти параметры достигают оптимальных величин, происходит усиление фотосинтеза. Благодаря фотосинтезу примерно 1-1,5% энергии Солнца, получаемой зелеными растениями, запасается в органических молекулах. Фотосинтезирующие организмы дают пищу гетеротрофам, а также кислород, необходимый для дыхания всем живым существам на планете. Установлено, что 21% кислорода в современной атмосфере Земли создан главным образом путем фотосинтеза.

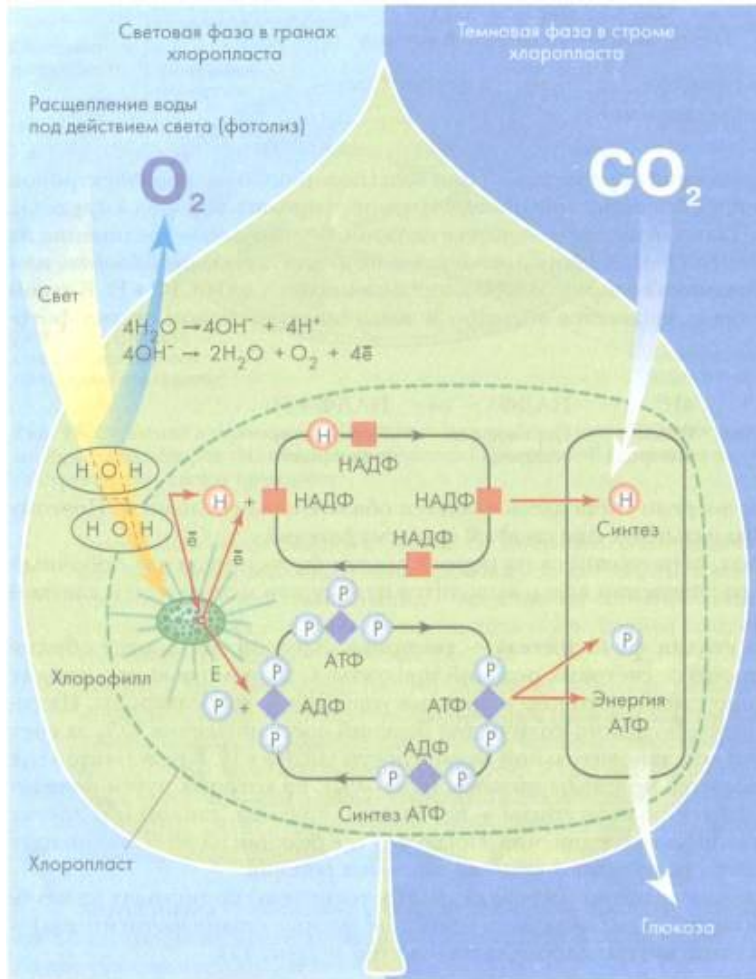


Рис. 17. Схема фотосинтеза. Продукты световых и темновых реакций фотосинтеза

Фотосинтез — уникальный процесс создания зелеными клетками органических веществ из неорганических, притом идущий в огромных масштабах на суше и в воде. Ежегодно растения связывают 1,7 млрд т углерода, образуя при этом более 150 млрд т органического вещества и выделяя около 200 млрд т кислорода.

Фотосинтез — *единственный* на нашей планете процесс превращения энергии солнечного света в энергию химических связей органических веществ. Таким способом энергия Солнца, поступившая из космоса, преобразуется и запасается клетками зеленых растений в углеводах, белках и липидах, обеспечивая жизнедеятельность всего гетеротрофного населения живого мира — от бактерий до человека.

Вот почему выдающийся русский ученый-естествоиспытатель К.А. Тимирязев эту роль зеленых растений для жизни на Земле назвал космической.

1. В чем отличие биосинтеза углеводов от биосинтеза белков?

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

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

• В фотосинтезе роль света заключается в том, что он... а) возбуждает хлорофилл; б) расщепляет воду;

в) соединяется с хлорофиллом; г) связывается с углекислым газом.

§ 12 Обеспечение клеток энергией

Всем живым клеткам постоянно нужна энергия. Она используется для обеспечения различных биологических и химических реакций в клетке. Одни организмы для этих реакций используют энергию солнечного света, другие — энергию химических связей органических веществ, поступающих с пищей. Извлечение энергии из пищевых веществ осуществляется в клетке путем их расщепления и окисления в процессе дыхания. Поэтому такое дыхание называют **биологическим окислением** или **клеточным дыханием**.

Клеточное дыхание — это совокупность окислительных процессов в клетке, сопровождающих расщепление молекул органических веществ и образование органических соединений, богатых энергией.

Биологическое окисление с участием кислорода называют *аэробным* (от греч. *aer* — «воздух» и *bios* — «жизнь»), без кислорода — *анаэробным* (от греч. *an* — отрицат. частица, *aer* — «воздух» и *bios* — «жизнь»). Процесс биологического окисления идет многоступенчато. При этом в клетке происходит накопление энергии в виде молекул АТФ и других органических соединений. В упрощенном виде этот процесс можно представить в виде трех последовательных стадий (этапов) (рис. 18).

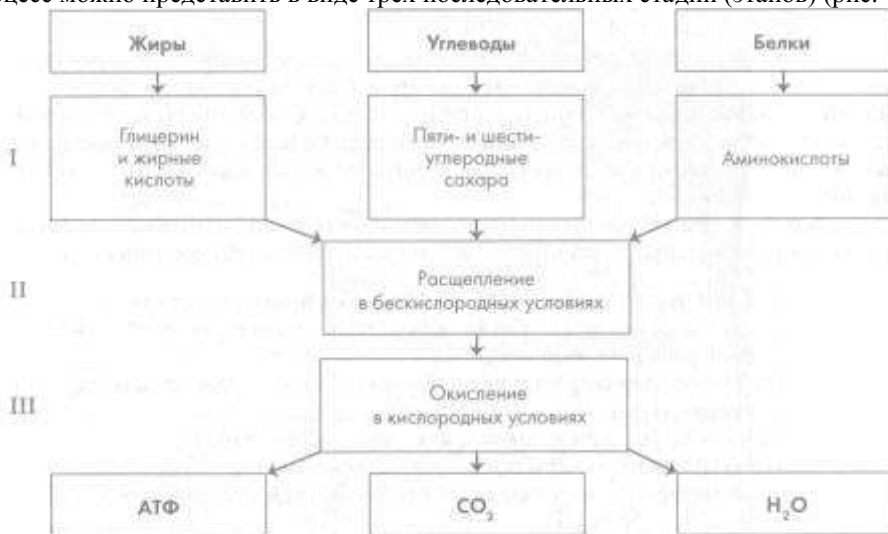


Рис. 18. Схема процесса биологического окисления

Первая и вторая стадии биологического окисления происходят в цитоплазме клетки, а третья — в митохондриях.

Первая стадия — подготовительная. Поступившие с пищей или созданные путем фотосинтеза биополимерные молекулы органических веществ распадаются под действием ферментов на мономеры. Например, полисахариды распадаются на молекулы глюкозы, белки — на молекулы аминокислот, а жиры — на глицерин и жирные кислоты. Выделяющееся при этом небольшое количество энергии рассеивается в виде тепла.

На второй стадии образовавшиеся мономеры распадаются на еще более простые молекулы. Например, молекула глюкозы (шестиуглеродное соединение $C_6H_{12}O_6$) сначала распадается на две трехуглеродные молекулы пировиноградной кислоты ($C_3H_4O_3$) с образованием четырех молекул АТФ. Затем пировиноградная кислота преобразуется под действием ферментов и энергии в молочную кислоту, а молекул АТФ остается только две. Весь процесс идет безучастия кислорода, поэтому данную стадию называют *бескислородной* или *анаэробной*.

Ферментативный и бескислородный (анаэробный) процессы распада органических веществ (главным образом, глюкозы до молочной кислоты) называют *гликолизом* (от греч. *glykys* — «сладкий» и *lysis* — «разложение», «распад»).



Последовательность реакций гликолиза идет одинаково у всех без исключения живых клеток.

Гликолиз — наиболее древний способ расщепления глюкозы, широко распространенный в природе. Он играет важную роль в обмене веществ у живых организмов. Гликолиз одной молекулы глюкозы дает две молекулы АТФ. Это обеспечивает клетку энергией. По типу гликолиза идет обеспечение организма энергией у прокариот, в частности у бактерий. Этот процесс происходит у них в цитоплазме.

В условиях достаточного снабжения клетки кислородом гликолиз выступает анаэробной стадией, предшествующей окислительному распаду углеводов до конечных продуктов — углекислого газа и воды. Для полного расщепления питательных веществ при дыхании необходим кислород.

На третьей стадии происходит дальнейшее окисление веществ с помощью кислорода (O_2) и ферментов до конечных продуктов — углекислого газа и воды. В результате образуется большое количество энергии — 32 молекулы АТФ. Поскольку эта стадия идет с участием кислорода, ее называют *кислородной* или *аэробной*.

Основная функция дыхания — обеспечение клетки (и организма) энергией — осуществляется на этапе кислородного расщепления веществ.

Всего на трех этапах биологического окисления одной молекулы глюкозы образуется 36 молекул АТФ. Часть молекул расходуется на сами процессы окисления, а 21 молекула АТФ передается в цитоплазму для обеспечения работы других клеточных структур.

Дыхание, происходящее в клетке с образованием энергии, нередко сравнивают с горением: в обоих случаях идет поглощение кислорода, выделение энергии и продуктов окисления — углекислого газа и воды. Но, в отличие от горения, дыхание представляет собой высокоупорядоченный процесс последовательно идущих реакций биологического окисления, осуществляемых с помощью ферментов. Образование CO_2 при горении происходит путем прямого соединения кислорода с углеродом, а при дыхании CO_2 возникает как конечный продукт биологического окисления (клеточного дыхания).

При этом в процессе дыхания помимо воды и диоксида углерода образуются молекулы АТФ и других высокоэнергетических соединений. Дыхание — принципиально иной процесс, нежели горение.

1. В чем сходство и различия дыхания и фотосинтеза?

2*. На чем основывается утверждение ученых, что гликолиз появился в живой природе раньше кислородного расщепления?

3. Замените одним словом выделенную часть каждого утверждения.

- *Ферментативный и бескислородный процесс распада органических веществ в клетке наблюдается у бактерий.*

- *Совокупность окислительных процессов расщепления молекул органических веществ с участием кислорода — свойство клеток высших растений и большинства животных.*

Краткое содержание главы

Цитология — наука, изучающая клетку. В процессе становления и развития цитологии сформулирована клеточная теория, содержащая основополагающие сведения о свойствах клетки, ее универсальности, структуре, жизнедеятельности и значении для живой природы.

Клетка — это особая биосистема. Она является элементарной структурной единицей живой материи. Все организмы состоят из клеток.

В клетках живых организмов всегда присутствуют четыре группы органических соединений: углеводы, липиды, белки и нуклеиновые кислоты, а также многие неорганические соединения, среди которых важнейшую роль выполняет вода. По строению все клетки делят на прокариотические и эукариотические.

В живой клетке постоянно осуществляется обмен веществ — метаболизм. Метаболизм включает два взаимосвязанных процесса: ассимиляцию (анаболизм) и диссимиляцию (катаболизм). Совокупностью их химических реакций обеспечивается биосинтез новых соединений, необходимых для жизни клетки, и распад (расщепление) уже имеющихся или поступающих веществ для обеспечения клетки энергией.

Биосинтез важнейших органических веществ и клеточное дыхание осуществляются в клетке с помощью ферментов. Энергию клетки получают или непосредственно путем поглощения света (при фотосинтезе), или путем расщепления имеющихся органических соединений при клеточном дыхании.

В процессе эволюции клетки приобрели упорядоченность и согласованность реакций обмена веществ и энергии. Регулируется протекание всех этих сложных реакций благодаря четкому разграничению функций, выполняемых внутриклеточными структурами, строгой упорядоченности размещения в этих структурах ферментов и избирательной проницаемости биологических мембран. Взаимодействие всех клеточных структур и протекающих в них процессов, обеспечивающих жизнедеятельность и целостность клетки, позволяет рассматривать клетку как особую живую систему.

Проверьте себя

1. Поясните, почему структура и свойства клетки были открыты лишь в XIX-XX вв.

2. Поясните, почему знания о клетке необходимы в повседневной жизни.

3. Назовите основные структурные компоненты клетки.
4. Охарактеризуйте важнейшие процессы жизнедеятельности клетки.
5. Докажите, что клетка — биосистема и организм.

Проблемы для обсуждения

1. Почему клетки прокариот, возникшие на Земле ранее других и сохранившие черты древности (примитивности) в своем строении, существуют на нашей планете и поныне?
2. Поясните, как в клетке осуществляется регуляция процессов обмена веществ. Приведите примеры такой регуляции.
3. В учебнике показан процесс обеспечения клетки энергией на примере клеточного дыхания с использованием углеводов. Участвуют ли в этом процессе белки и липиды?
4. Разъясните, каким образом осуществляется управление процессами жизнедеятельности клетки.
5. Подумайте, связано ли знание о клетке с постижением общих законов жизни и ее развития. Обоснуйте свою точку зрения.

Основные понятия

Прокариоты. Эукариоты. Органоиды клетки. Мономеры. Полимеры. Нуклеиновые кислоты. ДНК. РНК. Ферменты. Биосинтез. Фотосинтез. Метаболизм. Биологическое окисление (клеточное дыхание).

Глава 3

Размножение и индивидуальное развитие организмов (онтогенез)

Изучив главу, вы сумеете:

- охарактеризовать два основных типа размножения и их роль в эволюции жизни;
- рассказать о биологическом значении оплодотворения и роли зиготы;
- раскрыть суть митоза и мейоза и их значение;
- объяснить процессы клеточного деления и его биологическое значение;
- описать этапы онтогенеза.

§ 13 Типы размножения

Размножение — это воспроизведение себе подобных, обеспечивающее продолжение существования вида.

Размножение — основное свойство всех организмов. В результате размножения увеличивается число особей определенного вида, осуществляется непрерывность и преемственность в передаче наследственной информации от родителей к потомству. Достигнув определенных размеров и развития, организм воспроизводит свое потомство — новые организмы того же вида и расселяет их в окружающем пространстве.

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

Бесполое размножение — это самовоспроизведение организмов, в котором участвует лишь одна особь (родитель). В половом размножении, как правило, участвуют две особи (два родителя) — женская и мужская.

Половое размножение. Главной особенностью полового размножения является *оплодотворение*, т. е. слияние женской и мужской половых клеток и образование одной общей клетки — **зиготы** (греч. *zygotes* — «соединенный вместе»). Зигота дает начало новому организму, в котором объединены наследственные свойства двух родительских организмов.

Половые клетки — **гаметы** (греч. *gametes* — «супруг») — образуются у родительских организмов в специальных органах. У животных и человека их называют половыми органами, у растений — генеративными органами (греч. *genero* — «произвожу», «рождаю»). В половых органах у животных и в генеративных органах у растений развиваются мужские и женские гаметы. Мужские гаметы — обычно мелкие клетки, содержащие только ядерное (наследственное) вещество. Одни из них — неподвижные (*спермии*), другие — подвижные (*сперматозоиды*).

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

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

Оплодотворение у многих примитивных организмов (нитчатые зеленые водоросли, например *спирогира*, некоторые виды бактерий, инфузории, плесневые грибы и др.) осуществляется слиянием двух морфологически одинаковых клеток, в результате чего образуется одна клетка — зигота. Такой половой процесс получил название *конъюгация* (лат. *conjugatio* — «соединение»). Сливающиеся клетки называют также *гаметами*. Их конъюгация (слияние) дает зиготу.

Конъюгировать могут две соседние клетки одной и той же нити *спирогиры* или клетки двух разных рядом лежащих нитей. При этом роль женской половой клетки выполняет та, в которую перетекает содержимое другой клетки. Перетекающее содержимое считается мужской половой клеткой.

У инфузории туфельки хвостатой конъюгируют две одинаковые свободноплавающие особи. Причем они не сливают вместе содержимое клеток, а обмениваются между собой ядерным веществом.

Таким образом, половое размножение характеризуется развитием половых клеток, оплодотворением и образованием зиготы, объединяющей наследственное вещество двух разных родительских особей. В итоге каждая дочерняя особь, развивающаяся из зиготы, содержит в себе новые свойства — от двух разных организмов одного и того же вида.

При половом размножении всегда возникает организм с уникальными, до того еще не встречавшимися в природе свойствами, хотя и очень похожий на своих родителей. Такие организмы с новыми наследственными свойствами, полученными от обоих родителей, нередко оказываются более приспособленными к жизни в изменяющихся условиях окружающей среды.

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

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

Бесполое размножение. Это древний способ воспроизведения себе подобных, свойственный организмам всех царств живой природы, особенно прокариотам. Такой способ размножения, осуществляющийся безучастия половых клеток, широко распространен у одноклеточных организмов, у грибов и бактерий.

У одноклеточных и многоклеточных организмов бесполое размножение осуществляется *делением* и *почкованием*. Деление у прокариот идет путем перетяжки клетки на две части. У эукариот деление происходит сложнее и обеспечивается процессами, протекающими в ядре (см. § 14).

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

У одноклеточных и некоторых многоклеточных животных, а также у грибов и растений бесполое размножение может осуществляться путем почкования. На материнском организме образуются особые выросты — почки, из которых развиваются новые особи. Еще одна разновидность бесполого размножения — *спорообразование*. Споры — это отдельные, очень мелкие специализированные клетки, которые содержат ядро, цитоплазму, покрыты плотной оболочкой и способны на протяжении длительного времени

переносить неблагоприятные условия. Попад в благоприятные условия среды, споры прорастают и образуют новый (дочерний) организм. Спорообразование широко представлено у растений (водоросли, мохообразные, папоротникообразные), грибов и бактерий. Среди животных спорообразование отмечается, например, у споровиков, в частности у *малярийного плазмодия*.

Примечательно, что при бесполом размножении отделившиеся дочерние особи полностью воспроизводят свойства материнского организма. Попад в другие условия среды, они могут проявить свои свойства иначе главным образом лишь в размерах (величине) новых организмов. Наследственные свойства остаются неизменными.

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

Бесполое размножение позволяет сохранить неизменными свойства вида. В этом заключается важное биологическое значение этого типа размножения. Организмы, появившиеся бесполом путем, обычно развиваются значительно быстрее, чем появившиеся путем полового размножения. Они быстрее увеличивают свою численность и значительно быстрее осуществляют расселение на большие территории.

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



Рис. 19. Папоротник — споровое растение (в круге — осыпающиеся споры); а — спорофит; б — гаметофит

Например, у некоторых морских кишечнополостных половое поколение представлено одиночными свободноплавающими медузами, а бесполое — сидячими полипами. У растений, например у папоротников, половое поколение (*гаметофит*) представлено мелким листовидным заростком, а бесполое поколение (*спорофит*) — крупным листостебельным растением, на котором развиваются споры (рис. 19).

Характерно, что бесполое размножение осуществляется тогда, когда организм находится в благоприятных для него условиях. При ухудшении условий организм переходит к половому размножению. У многих высокоразвитых растений и животных

половое размножение начинается лишь после того, как организм пройдет ряд определенных стадий в своем развитии и достигнет возраста половой зрелости.

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

1. Объясните эволюционное преимущество полового размножения перед бесполом.

2*. В чем состоит биологическая роль бесполого размножения в эволюции живого?

3. Замените выделенные слова термином.

- *Слияние двух соседних, рядом лежащих клеток* — способ оплодотворения у многих примитивных организмов.
- *Подвижные половые мужские клетки* развиваются у большинства животных и растений, а *неподвижные половые мужские клетки* — только у семенных растений.

§ 14 Деление клетки. Митоз

Все новые клетки возникают путем деления уже существующей клетки, реализуя основной закон жизни: «клетка — от клетки». Этот процесс наблюдается и у одноклеточных, и у многоклеточных организмов.

У одноклеточных организмов деление клетки лежит в основе бесполого размножения, ведущего к увеличению их численности. У многоклеточных организмов деление лежит в основе формирования самого организма. Начав свое существование с одной клетки (зиготы), благодаря многократно повторяющемуся делению они создают путем бесполого размножения миллиарды новых клеток: таким образом идет рост организма, обновление его тканей, замена постаревших и отмерших клеток. Клеточное деление не прекращается на протяжении всей жизни организма — от рождения до смерти.

Известно, что клетки со временем стареют (в них накапливаются ненужные им продукты обмена) и отмирают. Подсчитано, что у взрослого человека общее количество клеток составляет более 10^{15} . Из них ежедневно отмирает около 1-2 % клеток. Так, клетки печени живут не более 18 месяцев, эритроциты — 4 месяца, клетки эпителия тонкого кишечника — 1-2 дня. Только нервные клетки живут на протяжении всей жизни человека и функционируют, не заменяясь. Все остальные клетки человека заменяются новыми приблизительно каждые 7 лет.

Все замены клеток в организме осуществляются путем их постоянного деления.

Деление клеток — сложный процесс бесполого размножения. Образовавшиеся новые дочерние клетки обычно становятся способными к делению после некоторого периода своего развития. Это обусловлено тем, что делению должно предшествовать удвоение внутриклеточных органоидов, обеспечивающих жизнедеятельность клетки. В противном случае в дочерние клетки попадало бы все меньше и меньше органоидов. Дочерняя клетка для нормального функционирования, подобно родительской, должна получить наследственную информацию о своих основных признаках, заключенную в хромосомах. Без этой информации клетка не сможет синтезировать те нуклеиновые кислоты и белки, которые ей потребуются. А это значит, что каждой дочерней клетке при делении необходимо получить копию хромосом с наследственной информацией от родительской клетки.

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

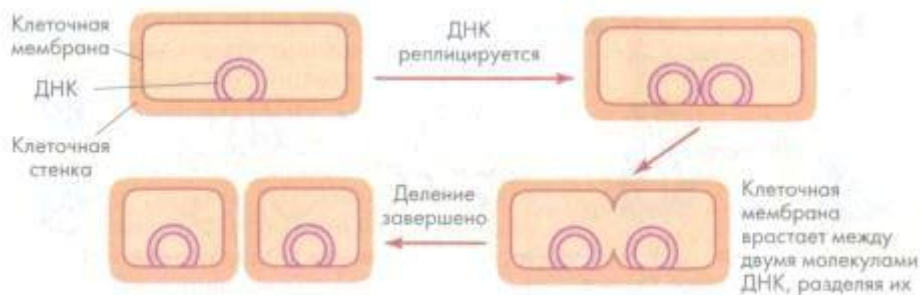


Рис. 20. Схема деления прокариотической клетки

Деление клеток у прокариот. Клеточное деление прокариот обусловлено особенностями строения их клеток. У прокариотических клеток нет ядра и хромосом. Поэтому клетки размножаются простым делением. Ядерное вещество у бактерий представлено одной кольцевой молекулой ДНК, которую условно считают хромосомой. ДНК имеет вид кольца и обычно прикреплена к клеточной мембране. Перед делением бактериальная ДНК удваивается, и каждая из них, в свою очередь, прикрепляется к клеточной мембране. По завершении удвоения ДНК клеточная мембрана врастает между образовавшимися двумя молекулами ДНК. Таким образом, цитоплазма оказывается поделенной на две дочерние клетки, в каждой из которых содержится по идентичной кольцевой молекуле ДНК (рис. 20).

Деление клеток у эукариот. В клетках эукариот молекулы ДНК заключены в хромосомах. Хромосомы играют главную роль в процессе клеточного деления. Они обеспечивают передачу всей наследственной информации и участие в регуляции процессов обмена веществ у дочерних клеток. Распределением хромосом между дочерними клетками и передачей каждой из них строго одинакового набора хромосом достигается преемственность свойств в ряду поколений организмов.

При делении ядро эукариотической клетки проходит ряд последовательно и непрерывно идущих друг за другом стадий. Этот процесс называют **митозом** (греч. *mitos*— «нить»).

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

В зависимости от того, что происходит в делящейся клетке и как выглядят эти события под микроскопом, различают четыре *фазы*, или стадии, митоза, следующие одна за другой: первая фаза — профазы, вторая — метафаза, третья — анафаза и четвертая, завершающая, — телофаза. Рассмотрим, что же происходит в ядре на разных стадиях деления (рис. 21).

Профаза. Увеличен объем ядра. Ядерная мембрана распадается. Четко видны удвоенные хромосомы: они состоят из двух нитевидных копий — *хроматид*, соединенных перетяжкой — *центромерой*. В цитоплазме из микротрубочек формируется аппарат для растаскивания хромосом — *веретено деления*.

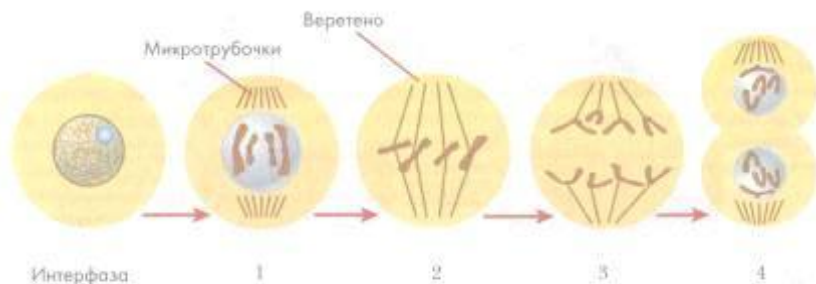


Рис. 21. Клетка на разных стадиях деления ядра: 1 — профазы; 2 — метафаза; 3 — анафаза; 4 — телофаза

Метафаза. Хромосомы перемещаются в середину клетки. Каждая из них состоит из двух хроматид, соединенных центромерой. Один конец нитей веретена прикреплен к центромерам.

Анафаза. Микротрубочки сокращаются, центромеры разъединяются и удаляются друг от друга. Хромосомы разделяются, и хроматиды расходятся к противоположным полюсам веретена.

Телофаза. Формируются новые ядра. Хромосомы в новых ядрах становятся тонкими, невидимыми в микроскоп. Вновь появляется ядрышко, и образуется оболочка ядра. Это последняя фаза деления ядра клетки.

Одновременно с телофазой начинается разделение цитоплазмы. Вначале образуется перетяжка (перегородка) между дочерними клетками. Спустя некоторое время содержимое клетки оказывается разделенным. Так появляются новые дочерние клетки с цитоплазмой вокруг новых одинаковых ядер. После этого снова начинается подготовка к делению теперь уже новой клетки, и весь цикл повторяется непрерывно, если имеются благоприятные условия. Процесс митоза занимает около 1-2 ч. Продолжительность его различается у разных типов клеток и тканей. Зависит он также и от условий окружающей среды.

Деление ядра и, следовательно, клетки идет непрерывно, до тех пор пока в клетке имеются средства, обеспечивающие ее жизнедеятельность.

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

Первый этап клеточного цикла — подготовка клетки к делению. Его называют *интерфазой* (от лат. *inter*— «между» и греч. *phasis*— «появление»). Интерфаза в клеточном цикле занимает самый большой (до 90 %) промежуток времени. В этот период в клетке отчетливо видны ядро и ядрышко. Идет активный рост молодой клетки, осуществляется биосинтез белков, их накопление, подготовка молекул ДНК к удвоению и удвоение (репликация) всего материала хромосом. Хромосом не видно, но активно идет процесс их удвоения. Удвоенная хромосома состоит из двух половинок, содержащих по одной двухцепочечной молекуле ДНК. Характерными признаками интерфазных клеток являются деспирализация (раскрученность) хромосом и их равномерное распределение в виде рыхлой массы по всему ядру. К концу интерфазы хромосомы спирализуются (скручиваются) и становятся видимыми, но еще представляют собой тонкие вытянутые нити (рис. 22).

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

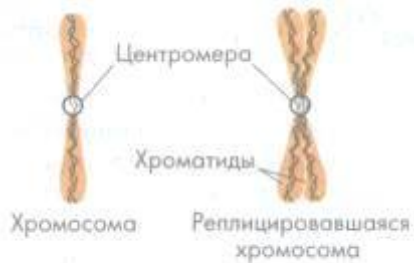


Рис. 22. Удвоение хромосомы

После разделения каждая из двух дочерних клеток вновь вступает в период интерфазы. С этого момента у обеих возникших эукариотных клеток начинается новый (теперь уже собственно их) клеточный цикл.

Как видим, клеточное деление у эукариот и прокариот происходит по-разному. Но и простое деление у прокариот, и деление путем митоза у

эукариот являются способами бесполого размножения: дочерние клетки получают наследственную информацию, которая имелаась у родительской клетки. Дочерние клетки генетически идентичны родительской. Каких-либо изменений в генетическом

аппарате здесь не происходит. Поэтому все появляющиеся в процессе клеточного деления клетки и образовавшиеся из них ткани обладают генетической однородностью.

1. Объясните различия в процессах клеточного деления у прокариот и эукариот.

2*. Почему при бесполом размножении потомки идентичны родителям?

3. Охарактеризуйте процесс митоза и особенности каждой его стадии.

4. Замените подчеркнутые слова терминами.

- *Первая фаза митоза* начинается, когда хромосомы становятся видимыми.

- *В конце третьей фазы митоза* хромосомы находятся на противоположных полюсах клетки.

- *Структуры клетки, содержащие генетическую информацию, становятся видимыми только во время митоза.*

Лабораторная работа № 2 (см. Приложение, с. 230).

§ 15 Образование половых клеток. Мейоз

Половые клетки (гаметы) развиваются в половых (генеративных) органах и играют важнейшую роль: обеспечивают передачу наследственной информации от родителей к потомкам. При половом размножении в результате оплодотворения происходит слияние двух половых клеток (мужской и женской) и образование одной клетки — зиготы, последующее деление которой приводит к развитию дочернего организма.

Обычно в ядре клетки содержатся два набора хромосом — по одному от одного и другого родителя — 2п (латинской буквой «п» обозначают одинарный набор хромосом). Такая клетка называется *диплоидной* (от греч. *diploos* — «двойной» и *eidos* — «вид»). Можно предположить, что при слиянии двух ядер во вновь образовавшейся клетке (зиготе) будут находиться уже не два, а четыре набора хромосом, которые при каждом последующем появлении зигот будут снова удваиваться. Представьте себе, какое количество хромосом накопилось бы тогда в одной клетке! Но такого в живой природе не происходит: число хромосом у каждого вида при половом размножении остается постоянным. Связано это с тем, что половые клетки образуются путем особого деления. Благодаря этому в ядро каждой половой клетки попадают не две (2п), а только одна пара хромосом (п), т. е. половина из того, что было в клетке до ее деления. Клетки с одинарным набором хромосом, т. е. содержащие только половину каждой пары хромосом, называются *гаплоидными* (от греч. *haploos* — «простой», «одиноким» и *eidos* — «вид»).

Процесс деления половых клеток, в результате которого в ядре оказывается вдвое меньше хромосом, называют *мейозом* (греч. *meiosis* — «уменьшение»). Уменьшение вдвое числа хромосом в ядре (так называемая редукция) происходит при формировании и мужских, и женских половых клеток. При оплодотворении путем слияния половых клеток в ядре зиготы вновь создается двойной набор хромосом (2п).

Следует заметить, что у многих эукариот (микроорганизмы, низшие растения и самцы некоторых видов членистоногих) соматические (греч. *soma* — «тело») клетки (все клетки тела, исключая половые) имеют гаплоидный набор хромосом. У многих цветковых растений клетки являются полиплоидными, т. е. в них содержится много наборов хромосом. Но у большинства животных, у человека и у высших растений

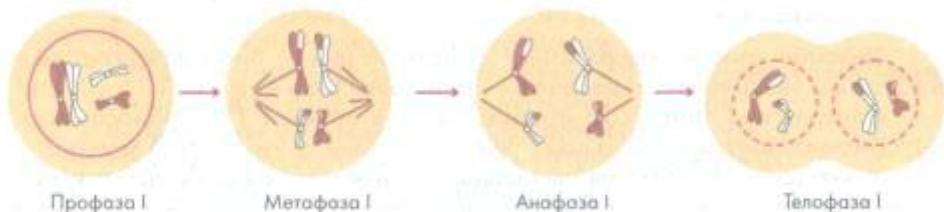
гаплоидными являются только половые клетки. Во всех других клетках тела этих организмов в ядре содержится диплоидный (2n) — двойной набор хромосом.

Мейоз имеет большое значение в живом мире. В процессе мейоза (в отличие от митоза) образуются дочерние клетки, которые содержат в два раза меньше хромосом, чем родительские клетки, но благодаря взаимодействию хромосом отца и матери всегда обладают новыми, неповторимыми комбинациями хромосом. Эти комбинации у потомства выражаются в новых сочетаниях признаков. Появляющееся множество комбинаций хромосом увеличивает возможность вида вырабатывать приспособления к изменяющимся условиям окружающей среды, что очень важно для эволюции.

С помощью мейоза образуются половые клетки с меньшим набором хромосом и с качественно иными генетическими свойствами, чем у родительских клеток.

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

Мейоз I



Мейоз II

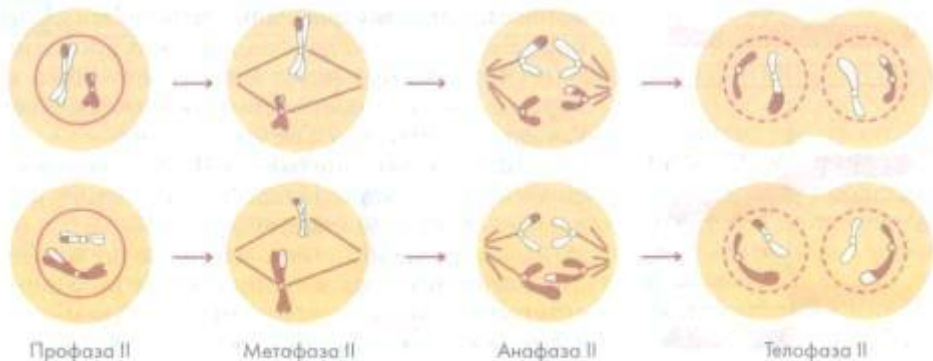


Рис. 23. Схема мейоза показан на рисунке 23.

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

Первое деление (мейоз I) начинается *профазой I*, во время которой удвоенные хромосомы (имеющие по две хроматиды) хорошо видны в световой микроскоп. В этой фазе одинаковые (*гомологичные*) хромосомы, но происходящие из ядер

отцовской и материнской гамет, сближаются между собой и «слипаются» по всей длине в пары. Центромеры (перетяжки) гомологичных хромосом располагаются рядом и ведут себя как единое целое, скрепляя четыре хроматиды. Такие соединенные между собой гомологичные удвоенные хромосомы называют *парой* или *бивалентом* (от лат. *bi* — «двойной» и *valens* — «сильный»).

Гомологичные хромосомы, составляющие бивалент, тесно соединяются между собой в некоторых точках. При этом может происходить обмен участками нитей ДНК, в результате которого образуются новые комбинации генов в хромосомах. Этот процесс называют **кроссингдвером** (англ. *crossingover* — «перекрест»), Кроссинговер может приводить к рекомбинации больших или маленьких участков гомологичных хромосом с несколькими генами или частей одного гена в молекулах ДНК (рис. 24).

Благодаря кроссинговеру в половых клетках оказываются хромосомы с иными наследственными свойствами в сравнении с хромосомами родительских гамет.

Явление кроссинговера имеет фундаментальное биологическое значение, так как увеличивает генетическое разнообразие в потомстве.

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

В *метафазе I* биваленты располагаются в экваториальной части клетки. Затем, в *анафазе I*, происходит расхождение гомологичных хромосом к противоположным полюсам клетки. *Телофазой I* завершается первое деление мейоза, в результате которого образуются две дочерние клетки, хотя каждая хромосома в них еще остается удвоенной (т. е. состоит из двух сестринских хроматид).

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

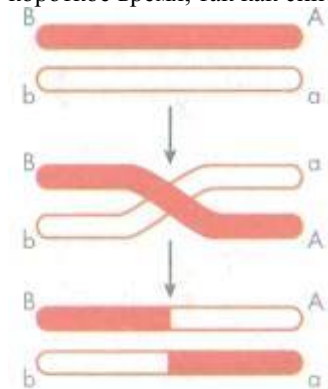


Рис. 24. Схема кроссинговера

Второе деление (мейоз II) начинается профазой II.

Возникшие в телофазе I две дочерние клетки начинают деление, подобное митозу: ядрышки и ядерные мембраны разрушаются, появляются нити веретена, одним своим концом прикрепляющегося к центромере. В *метафазе II* хромосомы выстраиваются по экватору веретена. В *анафазе II* центромеры делятся, и хроматиды хромосом в обеих дочерних клетках расходятся к их полюсам.

В результате из каждой удвоенной хромосомы получаются две отдельные хромосомы, которые отходят к противоположным полюсам клетки. На обоих полюсах из групп собравшихся здесь хромосом образуется ядро. В нем каждая пара гомологичных хромосом представлена только одной хромосомой.

В *телофазе II* вокруг ядра, которое теперь содержит одинарный (гаплоидный) набор хромосом, вновь образуется ядерная мембрана и делится клеточное содержимое. Редукционный процесс образования половых клеток завершается созданием четырех гаплоидных клеток — гамет.

В результате мейоза из одной клетки появляются четыре клетки с гаплоидным набором хромосом.

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

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

2*. В чем заключается биологический смысл мейоза?

3. Замените выделенные слова термином.

• *Деление клеток, в результате которого в ядре оказывается вдвое меньше хромосом, приводит к образованию половых клеток.*

4. Завершите утверждение, выбрав правильный термин:

Одинаковые хромосомы от отца и матери называются:

а) гаплоидными; в) диплоидными;

б) гомологичными; г) одинарными.

§ 16 Индивидуальное развитие организмов — онтогенез

Организм за период своей жизни претерпевает существенные преобразования: растет и развивается.

Совокупность преобразований, происходящих в организме от его зарождения до естественной смерти, называют **индивидуальным развитием** или **онтогенезом** (от греч. *ontos*— «сущее» и *genesis*— «возникновение», «происхождение»). У одноклеточных организмов жизнь укладывается в один клеточный цикл и все преобразования происходят между двумя делениями клетки. В многоклеточных организмах этот процесс гораздо сложнее.

При бесполом размножении, в том числе и вегетативном, онтогенез начинается с момента деления инициальной (т. е. дающей начало) клетки материнского организма. Организм на ранних этапах развития называют **зачатком**.

Одноклеточные организмы, как и все клетки, возникают путем клеточного деления. Во вновь образовавшейся клетке не всегда оказываются сформированными внутриклеточные структуры, обеспечивающие ее специфические функции и процессы жизнедеятельности. Необходимо определенное время, чтобы сформировались все органоиды и были синтезированы все нужные ферменты. Этот ранний период существования клетки (и одноклеточного организма) в клеточном цикле называют *созреванием*. После него следует период *зрелой жизни* клетки, завершающийся ее делением.

В индивидуальном развитии многоклеточного организма выделяют несколько этапов, которые часто называют *возрастными периодами*. Различают четыре возрастных периода: *зародышевый* (эмбриональный), *молодости*, *зрелости* и *старости*.

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

Эмбриональный период онтогенеза (эмбриональное развитие), происходящий внутриутробно в теле матери и оканчивающийся рождением, есть у большинства млекопитающих, в том числе у человека. У яйцекладущих организмов и выметывающих икру эмбриональное развитие происходит вне тела матери и оканчивается выходом из яйцевых оболочек (у рыб, земноводных, пресмыкающихся, птиц, а также у многих беспозвоночных животных — иглокожих, моллюсков, червей и др.).

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

У человека в ходе эмбрионального развития первым начинает обособляться головной и спинной мозг. Это происходит в течение третьей недели после зачатия. На этой стадии длина зародыша человека составляет всего 2 мм.

С первых дней эмбрионального развития зародыш очень чувствителен к повреждающим воздействиям, особенно химическим (лекарства, яды, алкоголь, наркотики) и инфекционным. Например, если женщина в промежутке между 4-й и 12-й неделями беременности заболевает краснухой, то это может вызвать выкидыш или нарушить у зародыша формирование сердца, головного мозга, органов зрения и слуха, т. е. органов, развитие которых происходит в этот период.

Большое влияние на развитие зародыша имеют факторы среды: радиация, токсические вещества (никотин, алкоголь, наркотики), недостаток кислорода, вирусы, паразиты, неудовлетворительное питание и т. п. Их постоянное воздействие может привести или к гибели зародыша, или к нарушению нормального развития (например, к появлению двухголовых ящеров, сиамских близнецов, слабоумию и др.).

После рождения или выхода из яйца начинается **постэмбриональное развитие** организма. У одних организмов этот период жизни занимает несколько дней, у других — несколько десятков и сотен лет, в зависимости от видовой принадлежности.

Лев умирает от старости в возрасте около 50 лет, крокодил может прожить до 100 лет, дуб — до 2000 лет, секвойя — более 3000 лет, а овес — 4–6 месяцев. Некоторые насекомые живут несколько дней. Человек умирает от старости в возрасте между 75–100 годами, хотя некоторые люди живут более 100 лет.

Постэмбриональное развитие складывается из трех возрастных периодов: *молодости, зрелости и старости*. Каждому из этих периодов свойственны определенные преобразования в строении и процессах жизнедеятельности организма, обусловленные его наследственностью и воздействием внешних условий. В процессе постэмбрионального развития организм претерпевает количественные и качественные изменения.

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

Онтогенез, безусловно, одно из самых удивительных биологических явлений. Появившись в виде крошечного зародыша или зачатка, организм проходит ряд сложных стадий развития, в процессе которых у него постепенно формируются все органы и механизмы, обеспечивающие жизнедеятельность. Достигнув половой зрелости, организм реализует главнейшую функцию живого — дает потомство, чем обеспечивает длительность и непрерывность существования своего вида.

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

1. Охарактеризуйте период эмбрионального развития организма.

2. *Замените терминами следующие определения: организм на ранних этапах развития; индивидуальное развитие многоклеточного организма.*

3*. Поясните, почему влияние опасных внешних воздействий (радиация, курение) оказывается более разрушительным на эмбриональном этапе онтогенеза, нежели на постэмбриональном.

Краткое содержание главы

Размножение присуще всем живым организмам. С помощью размножения обеспечивается самовоспроизведение организмов и непрерывность существования вида. Есть два основных типа размножения организмов — бесполое и половое. Непрямое клеточное деление (митоз) в процессе прохождения ряда фаз (профазы, метафазы, анафазы, телофазы) обеспечивает передачу дочерним клеткам одинаковой с родительской наследственной информации, заключенной в хромосомах ядра. В интерфазе осуществляется подготовка клетки к делению.

Наиболее древний тип размножения — бесполое размножение. Он обеспечивает стабильность генетической информации, сохранение свойств вида, более быстрое увеличение численности и расселение на новые территории.

Половое размножение возникло в процессе эволюции позднее бесполого. Благодаря мейозу, кроссинговеру и оплодотворению половое размножение обеспечивает генетическую изменчивость, позволяющую организмам приобретать новые признаки и свойства, а значит, лучше приспосабливаться к меняющимся условиям окружающей среды.

В процессе мейоза происходит редукционное деление половых клеток и образование гаплоидного (n) набора хромосом в ядре гамет. При оплодотворении клеток происходит слияние мужской и женской половых клеток с гаплоидным набором хромосом и образуется зигота с диплоидным ($2n$) набором хромосом в ядре.

Зигота дает начало развитию нового организма. Протекание жизни организма от зарождения до смерти называют индивидуальным развитием (онтогенезом). У многоклеточных онтогенез складывается из эмбрионального и постэмбрионального периодов.

Индивидуальное развитие всех организмов осуществляется в соответствии с наследственными свойствами, присущими виду, и в зависимости от условий среды обитания.

Проверьте себя

1. Поясните, в чем проявляется биологическая роль женских и мужских половых гамет.

2. Объясните основные отличия митоза от мейоза.

3. В чем проявляется зависимость индивидуального развития организма от условий среды в эмбриональном и постэмбриональном периодах?

4. Какие этапы наблюдаются в клеточном цикле одноклеточных организмов? Поясните значение интерфазы в жизни клетки.

1. Охарактеризуйте понятия «рост организма» и «развитие организма».

Проблемы для обсуждения

1. Охарактеризуйте биологическую роль разных типов размножения, если они наблюдаются у организмов одного и того же вида. Приведите примеры.
2. Раскройте механизм обеспечения непрерывности жизни.
3. Правильно ли утверждение, что развитие организма происходит в эмбриональном периоде, а в постэмбриональном периоде идет лишь увеличение размеров тела, т. е. рост организма? Подтвердите ваши суждения конкретными примерами.

Основные понятия

Бесполое размножение. Половое размножение. Гамета. Зигота. Хромосома. Митоз. Мейоз. Кроссинговер. Клеточный цикл. Диплоидная клетка. Гаплоидная клетка. Онтогенез.

Глава 4

Основы учения о наследственности и изменчивости

Изучив главу, вы сумеете:

- объяснить основные понятия генетики;
- описать механизм определения пола и типы наследования признаков;
- охарактеризовать роль наследственности и изменчивости организмов в живой природе.

§ 17 Из истории развития генетики

Генетика (греч. *genesis* — «происхождение») — так называется наука, изучающая наследственность и изменчивость организмов, а также механизмы управления этими процессами. Она имеет давнюю историю.

Еще в древние времена люди понимали, что растения, животные да и человек наследуют какие-то признаки от родителей, поскольку нельзя было не видеть сходства потомства и родителей. Причем определенные «родовые» признаки передавались неизменными из поколения в поколение. Опираясь на эту способность растений и животных к наследованию определенных качеств, стали отбирать для посева семена растений от наиболее урожайных особей, старались сохранять молодняк животных, обладающих нужными человеку свойствами — дающих больше молока или шерсти, лучше выполняющих тягловые работы и т. п.

Старинные китайские рукописи свидетельствуют, например, что 6000 лет назад создавались



Рис. 25. Родословная пяти поколений лошадей, записанная 6 тыс. лет назад. Показаны три типа гривы (торчит вверх, свисает вниз, без гривы) и три типа профиля головы (прямой, выпуклый и вогнутый)

различные сорта риса путем скрещивания и отбора. Археологические находки подтверждают, что египтяне культивировали урожайные сорта пшеницы. Среди вавилонских памятников письменности в Двуречье найдена каменная табличка, относящаяся к VI тысячелетию до н. э., на которой записаны данные о наследовании формы головы и гривы в пяти поколениях лошадей (рис. 25).

Однако только в XIX и начале XX в., когда были накоплены знания о жизни клетки, ученые приступили к исследованию феномена наследственности. Первый научный труд по изучению наследственности был выполнен чешским ученым и монахом Г. Менделем. В 1865 г. в статье «Опыты над растительными гибридами» он сформулировал закономерности наследования признаков, заложившие основание науки генетики. Мендель показал, что наследственные черты (задатки) не являются «слитными», как это считалось ранее, а передаются от родителей потомкам в виде дискретных (обособленных, отдельных) единиц, которые он назвал *факторами*. Эти единицы, представленные у особей парами, не сливаются вместе, а остаются дискретными и передаются потомкам в мужских и женских половых клетках по одной единице из каждой пары.

В 1909 г. наследственные единицы были названы датским ученым В. Иогансенем *генами* (греч. *genos* — «род»). В начале XX в. американский эмбриолог и генетик Т. Морган установил экспериментально, что гены находятся в хромосомах и располагаются там линейно. С тех пор концепция гена является центральной в генетике.

Видную роль в развитии генетики в первой половине XX в. сыграли наши отечественные ученые. А.С. Серебровский, исследуя генетику животных, показал сложную структуру гена, ввел в науку термин «генофонд». Учение о наследственности и изменчивости обогатили труды Н.И. Вавилова, сформулировавшего в 1920 г. закон гомологических рядов наследственности и изменчивости, что обеспечивало тесную связь генетики с эволюционным учением. Ю.А. Филипченко провел многочисленные эксперименты по генетическому анализу растений, разработал методы исследования изменчивости и наследственности. Значительный вклад в развитие генетики внесли также Г.Д. Карпченко, Н.К. Кольцов, С.С. Четвериков и другие исследователи.

В 40-х гг. были заложены биохимические основы генетики. Учеными была доказана роль молекул нуклеиновых кислот в передаче наследственной информации, что обусловило рождение молекулярной генетики. Расшифровка структуры молекулы ДНК, опубликованная в 1953 г., показала тесную связь этого химического соединения с наследственной информацией в генах.

Достижения в области молекулярной генетики привели к созданию новой отрасли биологической науки — генной инженерии, которая позволяет, манипулируя индивидуальными генами, получать в пробирке новые сочетания генов в хромосоме, которых ранее не было. Генная инженерия широко вошла в практику сельского хозяйства и биотехнологию.

Развитие генетики с опорой на молекулярные основы в рассмотрении наследственных качеств стало возможным благодаря созданию высоких технологий в области научных исследований, которые появились только в середине XX в.

Генетика представляет собой теоретическую основу *селекции* (лат. *selectio* — «выбор», «отбор») растений, животных и микроорганизмов, т. е. создания организмов с нужными человеку свойствами. Основываясь на генетических закономерностях, селекционеры создают улучшенные сорта растений и породы домашних животных. Методами генной инженерии выводят новые штаммы (чистые культуры) микроорганизмов (бактерий, грибов), синтезирующих вещества для лечения болезней.

Исследования ученых-генетиков привели к пониманию того факта, что наряду с инфекционными болезнями существует много различных наследственных

заболеваний. Ранняя диагностика этих заболеваний позволяет вовремя вмешаться в течение болезни и предотвратить или замедлить ее развитие.

Ухудшение экологии и негативные изменения окружающей среды вызвали много нарушений в генетической сфере живых организмов, увеличив вероятность наследственных заболеваний у человека.

Для решения многих проблем, связанных с этой тревожной тенденцией, и обеспечения генетической безопасности человека потребовались целенаправленные исследования и объединение усилий ученых — экологов и генетиков. Так возникло новое важное направление в науке — экологическая генетика, обеспечившая развитие службы генетической безопасности. Последняя изучает генетическую активность химических и физических факторов среды, воздействующих на человека и природу в целом. Экологи доказали, что для устойчивого развития жизни на Земле необходимо сохранение биологического разнообразия видов и природных экосистем. Эта жизненно важная для человечества задача обусловила активное развитие такого направления в биологической науке, как популяционная генетика.

Знания генетики востребованы в ботанике, зоологии, микробиологии, экологии, учении об эволюции, антропологии, физиологии, этологии и других областях биологии. Данные генетических исследований используют в биохимии, медицине, биотехнологии, охране природы, сельском хозяйстве. Можно сказать, что открытия и методы генетики находят применение во всех областях человеческой деятельности, связанной с живыми организмами. Законы генетики имеют большое значение для объяснения всех процессов жизни на Земле.

Научная и практическая роль генетики определяется значимостью предмета ее исследования — наследственности и изменчивости, т. е. свойств, присущих всем живым существам.

1. Что изучает наука генетика, когда и почему она стала так называться?
2. Почему Г. Мендель считается «отцом генетики»?
3. Замените выделенные слова термином.

- *Данные науки, исследующей наследственность и изменчивость организмов, в настоящее время нашли широкое применение во всех областях биологии.*

- *Единицы, которые обеспечивают передачу наследственных свойств, имеются у всех без исключения организмов.*

4*. Охарактеризуйте роль знаний о нуклеиновых кислотах для развития генетики.

§ 18 Основные понятия генетики

Генетика изучает два основных свойства живых организмов — наследственность и изменчивость.

Наследственность — способность организмов передавать свои признаки и особенности развития потомству. Благодаря этой способности все живые существа (растения, животные, грибы или бактерии) сохраняют в своих потомках характерные черты вида. Такая преемственность наследственных свойств обеспечивается передачей их генетической информации. Носителями наследственной информации у организмов являются **гены**.

Ген — единица наследственной информации, проявляющейся как признак организма.

В теме «Биосинтез белков в живой клетке» (§ 10) отмечалось, что ген служит основой для построения молекул белка, но в генетике ген выступает как носитель признака у организма. Такая «двойственность» гена становится понятной, если вспомнить, что важнейшая функция белка в клетке — ферментативная, т. е. управление химическими реакциями, в результате которых формируются все признаки организма. Эту «двойственную» роль гена можно выразить схемой: ген → белок → фермент → химическая реакция → признак организма.

Ген представляет собой участок молекулы ДНК (а у некоторых вирусов — РНК) с *определенным набором нуклеотидов*. В последовательности нуклеотидов заложена генетическая информация о развитии признаков организма. У высших организмов гены располагаются в ДНК хромосом (это так называемые ядерные гены) и в ДНК, содержащейся в органоидах цитоплазмы — митохондриях и хлоропластах (это цитоплазматические гены).

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

Организмы, которые в одинаковых (гомологических) хромосомах несут различные (альтернативные) аллели одного и того же гена, называют *гетерозиготными*, а организмы с одинаковыми аллелями в гомологичных хромосомах называют *гомозиготными*.

Гетерозиготность обычно обеспечивает более высокую жизнеспособность организмов, их хорошую приспособляемость к изменяющимся условиям среды и поэтому широко представлена в природных популяциях различных видов.

Ген — это участок молекулы ДНК, определяющий возможность развития отдельного признака. Однако само развитие этого признака в значительной мере зависит от внешних условий.

Совокупность всех генов (аллелей) отдельной особи называют *генотипом*. Генотип выступает как единая взаимодействующая система всех генетических элементов, которые контролируют проявление всех признаков организма (развитие, строение, жизнедеятельность).

Совокупность всех признаков организма называют *фенотипом*. Фенотип формируется в процессе взаимодействия генотипа и внешней среды. В фенотипе реализуются не все генотипические возможности организма. Поэтому фенотип еще называют частным случаем проявления генотипа в конкретных условиях. Полного совпадения генотипа с фенотипом практически не бывает. Изменение генотипа не всегда сопровождается изменением фенотипа, как и наоборот.

В пределах одного вида все особи достаточно похожи друг на друга. Но в различных условиях особи даже с одинаковым генотипом могут различаться между собой по характеру и силе проявления своих признаков (т. е. по фенотипу). В связи с этим в генетике используют понятие *норма реакции*, которым обозначают размах (пределы) фенотипических проявлений признака у особи под влиянием внешней среды без изменения генотипа.

Генотип определяет пределы (размах) нормы реакции организма, т. е. его генетические возможности, а фенотип реализует эти возможности в признаках.

Каждый организм обитает и развивается в определенных условиях окружающей среды, испытывая на себе действие внешних факторов. Эти факторы (температура, свет, присутствие других организмов и др.) могут проявиться в фенотипе, т. е. могут измениться размеры или физиологические свойства организма. Поэтому проявление признаков даже у близкородственных организмов может быть разным. Эти различия между особями в пределах вида называют **изменчивостью**.

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

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

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

Наследственность и изменчивость присущи всем организмам. Генетика, изучая закономерности наследственности и изменчивости, выявляет методы управления этими процессами.

1. Что такое аллель? Какие гены называются аллельными?
2. Сопоставьте роль наследственности и изменчивости в жизни организмов.
- 3*. Исключите в предложениях слова, искажающие правильность утверждений.
 - Ген как наследственный фактор и дискретная единица генетической информации локализован в хромосомах органоидов.
 - Генотип — это единая система всех хромосом и генетических элементов данной клетки или организма.
 - Пределы нормы реакции определяются генотипом и фенотипом.
 - Фенотипом называют совокупность признаков и генов организма.

§19 Генетические опыты Менделя

Человек всегда пытался выяснить закономерности наследования признаков. Талантливые селекционеры на основе многолетней практики получали именно те свойства, какие они хотели видеть у нового сорта растений (например, яблони, розы) или породы животного (масть лошади, форму тела собаки, голубя, длину хвоста петуха и пр.). Однако долго никому не удавалось объяснить, как генетическая информация передается от родителей к потомкам. Лишь в середине XIX в. в чешском городе Брно монах Г. Мендель благодаря генетическим опытам ответил на данный вопрос.

Мендель хорошо продумал условия проведения генетических опытов и выбрал очень удачный объект исследования — *горох посевной*.



Грегор Иоганн Мендель
(1822–1884)

Мендель был увлечен математикой, хорошо знал теорию вероятности, поэтому понимал, что для достоверности результатов нужно большое количество исследуемого материала, а горох дает много семян. Кроме того, горох — растение самоопыляемое, имеет закрытый цветок, что исключает случайное попадание в него чужой пыльцы. А это значит, что сорта гороха объединяют особи с однородными наследуемыми свойствами, получаемыми в процессе самоопыления. Потомство одной самоопыляемой особи, получаемое путем отбора и последующего самоопыления, называют *чистой линией*. Если, пользуясь пинцетом, перенести пыльцу цветка одного сорта на рыльце пестика цветка другого сорта, то можно с помощью перекрестного опыления получить растение с нужным исследователю сочетанием свойств. При этом произойдет **скрещивание** — объединение в результате полового процесса генетического материала двух клеток в одной клетке. Развившийся из такой клетки организм с новыми наследственными свойствами называется **гибридом** (лат. *hibrida* — «помесь»). Скрещивая таким образом растения двух сортов, обладающих контрастно отличающимися признаками (рис. 26), Мендель провел точный учет наследования этих признаков в ряду поколений.

В результате многолетних предварительных опытов он отобрал из множества сортов гороха чистые линии, которые различались по ряду контрастных признаков. Мендель выбрал семь таких признаков, имеющих контрастное проявление в потомстве: 1) окраска цветков (пурпурные и белые); 2) окраска семян (желтые и зеленые); 3) окраска бобов (зеленые и желтые); 4) поверхность семян (гладкие и

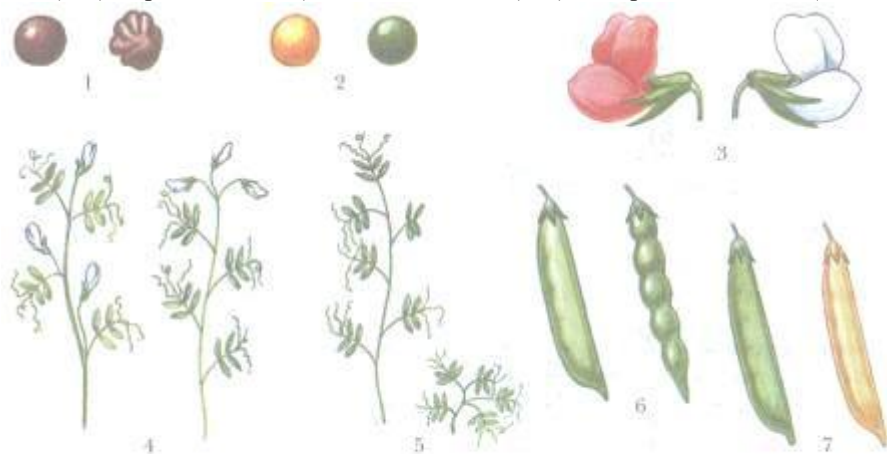


Рис. 26. Наследственные контрастные признаки гороха, изучавшиеся Г. Менделем: 1 — поверхность семян; 2 — окраска семян; 3 — окраска цветков; 4 — положение цветков; 5 — длина стебля; 6 — форма бобов; 7 — окраска бобов.

морщинистые); 5) форма бобов (простые и членистые); 6) длина стебля (длинные и короткие); 7) положение цветков на стебле (пазушные и верхушечные).

Сначала он изучал наследование одной пары контрастных вариантов только одного признака.

Скрещивание, в котором родители отличаются по одному признаку, Мендель называл *моногибридным*. Изучив проявление одного дискретного признака, различия по которому наследуются альтернативно, он перешел к изучению передачи двух признаков (*дигибридное скрещивание*), а затем трех признаков (*тригибридное скрещивание*). Проверяя свои выводы путем многочисленных экспериментов и количественного учета всех типов полученных гибридов, а затем тщательно анализируя полученные результаты, исследователь выявлял закономерности наследования признаков.

Первый закон Менделя. Сначала были проведены опыты по скрещиванию гороха с пурпурными и белыми цветками. Мендель опылял пурпурные цветки пыльцой белых цветков и наоборот. При таком скрещивании двух генетически разных сортов получилось смешанное потомство — *гибриды первого поколения*.

Мендель обнаружил, что от скрещивания сортов гороха с пурпурными и белыми цветками все растения в первом поколении получились одинаковыми (*единообразными*) — с пурпурными цветками (рис. 27).

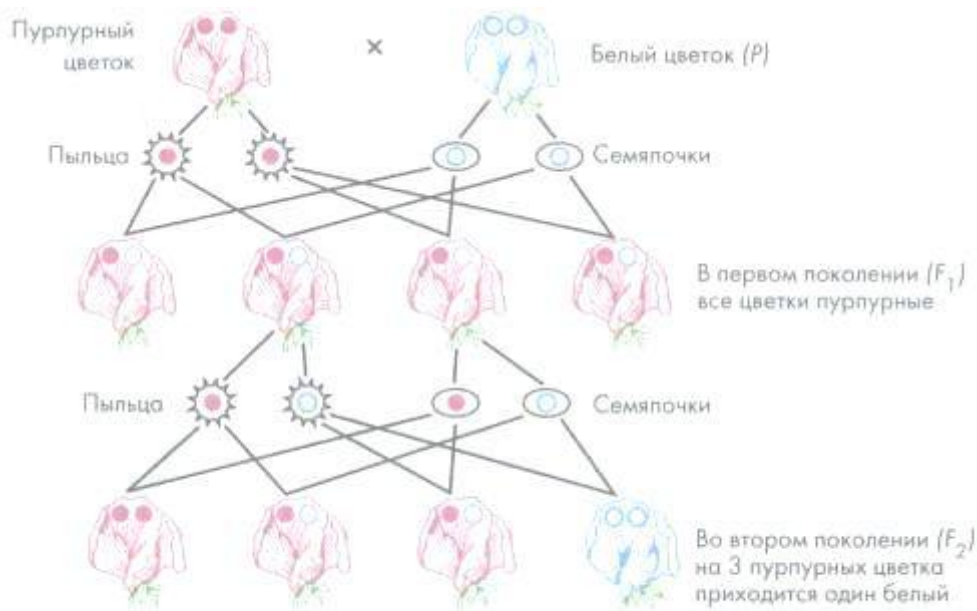


Рис. 27. Схема скрещивания двух сортов гороха (с пурпурными и белыми цветками) и полученные результаты

Мендель сделал гениальное предположение о том, что каждый наследуемый признак передается своим *фактором* (впоследствии названным геном). В чистых линиях гороха у каждого родителя ген несет один признак: цветок или белый, или

пурпурный. В гибридах одновременно содержатся признаки обоих родителей, но внешне проявляется только один из них, более «сильный». Такой «сильный» признак он назвал **доминантным** (лат. *dominantis* — «господствующий»), а «слабый» — **рецессивным** (лат. *recessus* — «удаление»). В случае с пурпурными и белыми цветками гороха доминантным признаком оказалась пурпурная окраска цветков, а рецессивным — белая окраска.

Для обозначения признаков Мендель ввел буквенную символику, используемую и в настоящее время. Доминантные гены он обозначал заглавными, а рецессивные — теми же, но строчными буквами латинского алфавита. Так, пурпурную окраску цветка гороха (доминантный признак) он обозначил *A*, а белую окраску цветка (рецессивный признак) — *a*. Родителей он обозначил *P*, скрещивание — знаком «х», а гибриды первого поколения — *F*.

Рассмотрим генотип родителей в данном опыте. Чистые сорта характеризуются однородностью парных (аллельных) генов, т. е. родительские особи (*P*) содержали задатки (аллельные гены) только одного типа: или рецессивные (*aa*), или доминантные (*AA*). Такие особи называют **гомозиготными** (от греч. *homos* — «одинаковый» и «зигота»), а особи с разными наследственными задатками (*Aa*) называют **гетерозиготными** (от греч. *heteros* — «иной» и «зигота»).

У растений с белыми цветками оба аллельных гена рецессивны, т. е. гомозиготны по рецессивному признаку (*aa*). При самоопылении такое потомство во всех последующих поколениях будет исключительно с белыми цветками. Родительские растения с пурпурными цветками несут одинаковые аллельные гены — это гомозиготы по доминантному признаку (*AA*), и их потомки всегда будут пурпурными. При скрещивании гибриды первого поколения получают в каждой аллели по одному гену от обоих родителей. Но у таких гибридов проявляется только доминантный признак (пурпурные цветки), а рецессивный (белые цветки) замаскирован. Поэтому все гибриды первого поколения выглядят одинаково — пурпурными.

Эта же закономерность наблюдалась и в опытах по другим признакам: у всех гибридов первого поколения проявляется только один, доминантный признак, а второй, рецессивный, как бы исчезает. Выявленную закономерность Мендель назвал **правилом доминирования**, которое теперь называют **законом единообразия гибридов первого поколения** или **первым законом Менделя**.

Первый закон Менделя утверждает: при скрещивании родителей чистых линий, различающихся по одному контрастному признаку, все гибриды первого поколения окажутся единообразными и в них проявится признак только одного из родителей.

Доминантный ген в гетерозиготном состоянии не всегда полностью маскирует рецессивный ген. Имеются случаи, когда гибрид *F*₁ носит промежуточный характер — с неполным доминированием. Например, при скрещивании ночной красавицы с красными (*AA*) и белыми (*aa*) цветками у гибридов (*F*₁) окраска цветков (*Aa*) была промежуточной — розовой (неполное доминирование). Такой промежуточный тип наследования признаков нередко наблюдается у животных (рис. 28).

Второй закон Менделя. Получив гибридные семена гороха первого поколения, Мендель вновь посеял их, но теперь уже не стал переопылять. В результате самоопыления у растений получились семена **второго поколения** (*F*₂). Среди них оказались растения и с пурпурными (таких было большинство), и с белыми цветками (примерно четверть растений).

Мендель установил, что при самоопылении гибридов первого поколения доминантные и рецессивные признаки оказываются у потомства в различных

сочетаниях. Это выражается в генотипе так: одна гомозигота по доминантному признаку (AA), две гетерозиготы (Aa) и одна гомозигота по рецессивному признаку

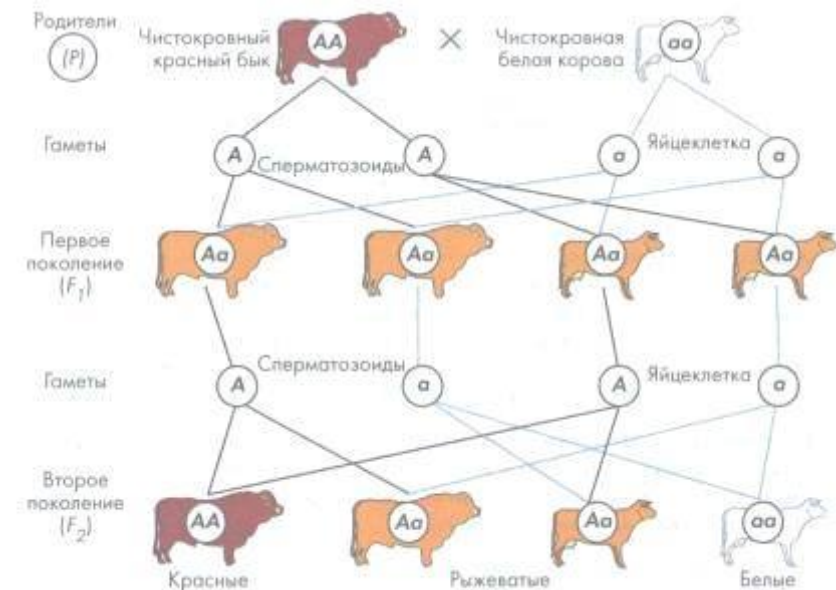


Рис. 28. Промежуточный тип наследования окраски у скота

(aa). Внешне, т. е. в фенотипе, это проявляется так: три особи с пурпурными цветками и одна — с белыми. Явление, при котором в результате скрещивания гетерозиготных особей распределение доминантных и рецессивных признаков у потомства происходит в отношении 3:1, было названо Менделем *расщеплением*. В наше время это явление называется *законом расщепления* или *вторым законом Менделя*.

Второй закон Менделя утверждает: при скрещивании двух гибридов первого поколения между собой среди их потомков — гибридов второго поколения — наблюдается расщепление: число особей с доминантным признаком относится к числу особей с рецессивным признаком как 3:1.

Согласно этому закону гибриды первого поколения дают расщепление: в их потомстве снова появляются особи с рецессивными признаками, составляющие примерно четвертую часть от всего числа потомства.

Закон расщепления — общий для всех живых организмов.

Расщепление признаков у потомства при скрещивании гетерозиготных особей Мендель объяснял тем, что в их половых клетках (гаметах) находится только один задаток (ген) из аллельной пары, который ведет себя как независимый и цельный. Такое явление Мендель назвал *чистой гаметой*, хотя не знал, почему так происходит. И это понятно: в его время еще ничего не было известно ни о митозе, ни о мейозе. В настоящее время установлено, что благодаря мейозу в гаметах образуется гаплоидный (одинарный) набор непарных хромосом, а в них располагаются либо доминантные, либо рецессивные гены.

1. Объясните суть первого закона Менделя.
2. Сформулируйте второй закон Менделя.

3*. В чем отличие F_1 от F_2 при моногибридном скрещивании?

4*. Почему аллели всегда бывают парными?

§ 20 Дигибридное скрещивание. Третий закон Менделя

Установив закон расщепления на примере моногибридных скрещиваний, Мендель стал выяснять, каким образом ведут себя пары альтернативных признаков гена. Ведь организмы отличаются друг от друга не одним, а многими признаками. Для того чтобы установить механизм наследования двух пар альтернативных признаков, он провел серию опытов по *дигибриднему* скрещиванию. Для опытов в качестве материнского растения был взят горох с гладкими желтыми семенами, а в качестве отцовского — с зелеными морщинистыми семенами. У первого растения оба признака являлись доминантными (AB), а у второго — оба рецессивными (ab).

В результате скрещивания, согласно закону доминирования признаков, у гибридов первого поколения (F_1) все семена оказались гладкими и желтыми. На следующий год из этих семян выросли растения, в цветках которых произошло самоопыление. У растений, полученных таким путем (второе поколение — F_2), произошло расщепление признаков, причем наряду с родительскими (гладкие желтые и морщинистые зеленые семена) появились и совершенно новые — морщинистые желтые и гладкие зеленые семена.

Оказалось, что гетерозиготы по двум парам аллельных генов образуют четыре типа гамет в равных количествах (AB, Ab, aB, ab). В двух из них гены находятся в том

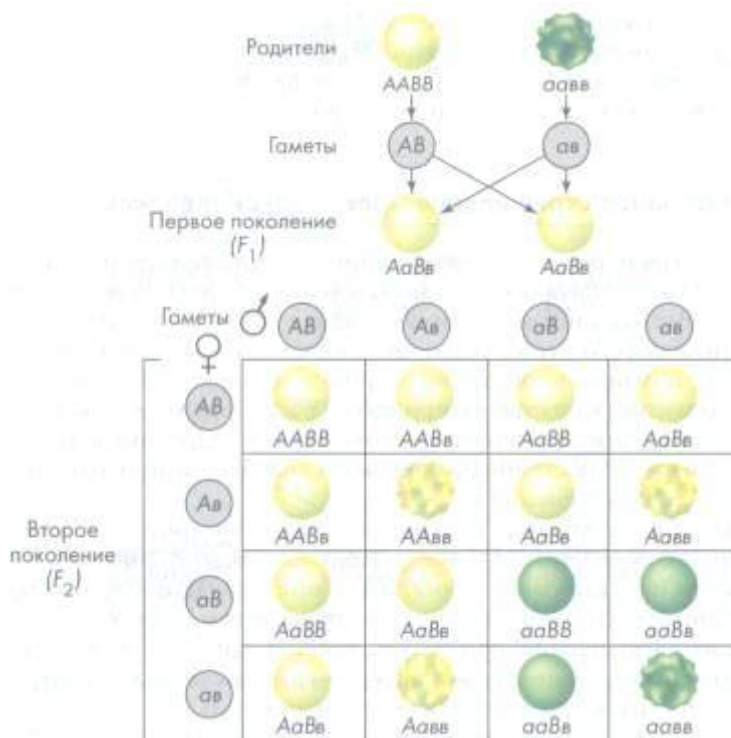


Рис. 29. Наследование окраски и формы семян у гороха: A — желтая окраска семян, a — зеленая окраска семян, B — гладкая форма семян, b — морщинистая форма семян.

же сочетании, как у родителей, а в других двух — в новых сочетаниях, или *рекомбинациях*. Соотношение генотипических форм гибридов F_2 (рис. 29) можно установить с помощью решетки Пеннета, названной так по имени одного из видных английских генетиков начала XX в., предложившего этот способ. В решетке по горизонтали и по вертикали записывают аллельные гены гамет родителей и, комбинируя их, в окошках получают генотипы потомков.

Выявление этих закономерностей возможно лишь при очень большом количестве опытного материала, поэтому Мендель, изучая расщепление семян по признаку формы семян, исследовал 7324 горошины, по признаку окраски — 8023 горошины, а по форме и окраске — 556.

В рассматриваемом дигибридном скрещивании гибридные семена (556 штук) второго поколения (F_2) расщепились в следующем соотношении: 315 гладких желтых, 108 гладких зеленых, 101 желтых морщинистых и 32 зеленых морщинистых. Такое распределение горошин показало, что $3/4$ из них являются желтыми, а $1/4$ часть зелеными. Среди желтых семян $3/4$ были гладкими, а $1/4$ — морщинистыми. У зеленых наблюдалось то же соотношение: $3/4$ гладких и $1/4$ морщинистых. Во всех случаях результаты показывали соотношение 3:1.

Опыты по дигибриднему скрещиванию свидетельствовали о том, что расщепление одной пары признаков (окраска желтая и зеленая) совсем не связано с расщеплением другой пары (гладкая и морщинистая форма). Это значит, что две пары признаков при передаче от поколения к поколению перераспределяются *независимо* друг от друга. При этом для семян гибридов F_2 оказались характерны не только родительские комбинации признаков, но и рекомбинации (новые комбинации).

Анализируя результаты дигибридного скрещивания, Мендель сделал вывод: расщепление в обеих парах контрастных (альтернативных) признаков происходит независимо друг от друга. Это явление отражает сущность третьего закона Менделя — закона независимого наследования (комбинирования) признаков.

Третий закон Менделя утверждает, что каждая пара контрастных (альтернативных) признаков наследуется независимо друг от друга в ряду поколений; в результате среди гибридов второго поколения появляются потомки с новыми комбинациями признаков в соотношении 9:3:3:1.

Закон независимого наследования признаков еще раз подтверждает дискретность любого гена. Это свойство генов быть носителем одного наследственного признака проявляется и в независимом комбинировании аллелей разных генов, и в их независимом действии — в фенотипическом выражении. Независимое распределение генов может быть объяснено поведением хромосом при мейозе. При мейозе пары гомологичных хромосом, а вместе с ними и парные гены, перераспределяются и расходятся в гаметы независимо друг от друга.

Для проверки правильности своих выводов Мендель осуществлял опыты, в которых он проверял, действительно ли рецессивные аллели гена не исчезли, а лишь замаскированы доминантными аллелями гена. Проверочное исследование Мендель проводил во всех случаях и моногибридного, и дигибридного скрещивания.

Предположим, что особи с генотипами AA и Aa имеют одинаковый фенотип. Тогда при скрещивании с особью, рецессивной по данному признаку и имеющей генотип aa , получаются следующие результаты:

1) P AA × aa
Гаметы A A a a
F₁ Aa (100%)

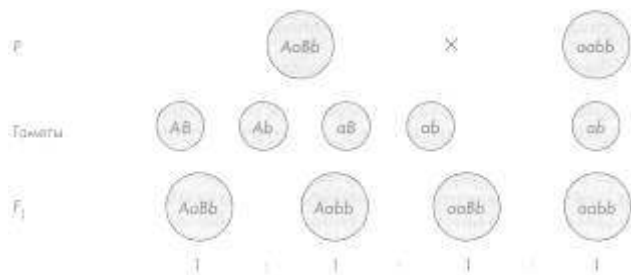
2) P AA × aa
Гаметы A a a a
F₁ Aa aa (1:1)

В первом случае особи, гомозиготные по доминантному (AA) гену, расщепления F₁ не дают, а в другом случае гетерозиготные особи (Aa) при скрещивании с гомозиготной особью дают расщепление уже в F₁.

Аналогичные результаты получены в анализирующем (проверочном) скрещивании и по двум парам аллелей:

P	AaBb (желтые гладкие)		×	aabb (зеленые морщинистые)	
Гаметы	AB	Ab	aB	ab	ab
F ₁	AaBb	Aabb	aaBb	aabb	
	желтые	желтые	зеленые	зеленые	
	гладкие	морщинистые	гладкие	морщинистые	

Скрещивание особи неопределенного генотипа с особью, гомозиготной по рецессивным аллелям, называют *анализирующим скрещиванием* (рис. 30). Такое скрещивание проводят для выяснения генотипа особи. Анализ не только представляет теоретический интерес, но и имеет большое значение в селекционной работе.



1. Объясните суть закона расщепления (второй закон Менделя).

2*. Почему явление независимого наследования признаков обнаруживается лишь у гибридов второго поколения (F₂)?

3. Назовите генотипы и фенотипы гибридов

первого поколения дигибридного скрещивания (F₁). Запишите их, пользуясь решеткой Пеннета.

4*. Почему в анализирующем скрещивании для выявления генотипа не используются особи, гомозиготные по доминантным аллелям?

Лабораторная работа № 3 (см. Приложение с. 230)

§ 21 Сцепленное наследование генов и кроссинговер

В начале XX в., когда генетики стали проводить множество экспериментов по скрещиванию на самых различных объектах (кукуруза, томаты, мыши, мушки дрозофилы, куры и др.), обнаружилось, что не всегда проявляются закономерности, установленные Менделем. Например, не во всех парах аллелей наблюдается доминирование. Вместо него возникают промежуточные генотипы, в которых

участвуют обе аллели. Обнаруживается также много пар генов, не подчиняющихся закону независимого наследования генов, особенно если пара аллельных генов находится в одной и той же хромосоме, т. е. гены как бы сцеплены друг с другом. Такие гены стали называть *сцепленными*.

Механизм наследования сцепленных генов, а также местоположение некоторых сцепленных генов установил американский генетик и эмбриолог Т. Морган. Он показал, что закон независимого наследования, сформулированный Менделем, действителен только в тех случаях, когда гены, несущие независимые признаки, локализованы в разных негомологичных хромосомах. Если же гены находятся в одной и той же хромосоме, то наследование признаков происходит совместно, т. е. сцепленно. Это явление стали называть *сцепленным наследованием*, а также *законом сцепления* или *законом Моргана*.

Закон сцепления гласит: сцепленные гены, расположенные в одной хромосоме, наследуются совместно (сцепленно).

Примеров сцепленного наследования генов известно очень много. Например, у кукурузы окраска семян и характер их поверхности (гладкие или морщинистые), сцепленные между собой, наследуются совместно. У душистого горошка (*Lathyrus odoratus*) сцепленно наследуются окраска цветков и форма пыльцы.

Все гены одной хромосомы образуют единый комплекс — *группу сцепления*. Они обычно попадают в одну половую клетку — гамету и наследуются вместе. Поэтому гены, входящие в группу сцепления, не подчиняются третьему закону Менделя о независимом наследовании. Однако полное сцепление генов встречается редко. Если гены располагаются близко друг к другу, то вероятность перекреста хромосом мала и они могут долго оставаться в одной хромосоме, а потому будут передаваться по наследству вместе. Если же расстояние между двумя генами на хромосоме велико, то существует большая доля вероятности, что они могут разойтись по разным гомологичным хромосомам. В этом случае гены подчиняются закону независимого наследования.

Таким образом, третий закон Менделя отражает частое, но не абсолютное явление в наследовании признаков.

Основные доказательства передачи наследственности были получены в экспериментах Моргана и его сотрудников.

В своих опытах Морган отдавал предпочтение плодовой мушке дрозофиле (*Drosophila melanogaster*). И до сих пор она — излюбленный объект исследований генетиков. Дрозофилу можно очень легко и быстро разводить в лаборатории, а главное — она очень удобна для гибридологического анализа благодаря множеству легко учитываемых элементарных признаков. В настоящее время ее генотип расшифрован, созданы подробные карты групп сцепления генов в хромосомах (у дрозофилы всего 4 пары хромосом). Многие положения хромосомной теории наследственности и свойства гена определены Т. Морганом на основе опытов с дрозофилой. Т. Морган считается создателем хромосомной теории наследственности.

Кроссинговер. Морган при изучении наследования признаков, сцепленных с полом, открыл линейное расположение генов на хромосоме, сформулировал учение о гене как элементарном носителе наследственной информации, разработал методику построения генетических карт хромосом. Он установил также генетическую роль мейоза и открыл явление кроссинговера. Кроссинговер впервые был обнаружен при изучении сцепленного наследования признаков, обусловленных

генами, находящимися в одной и той же хромосоме. При проведении опытов появлялось небольшое количество особей с перекомбинированными признаками. При этом один из прежде сцепленных генов оказывался в одной хромосоме, а второй — в другой, гомологичной, так как хромосомы перекрещивались и обменивались своими участками. Такое явление и называли *кроссинговером* (см. рис. 24).

Напомним, что кроссинговер происходит в конце профазы I мейоза. В процессе мейоза гомологичные хромосомы, прежде чем разойтись по разным ядрам, выстраиваются друг против друга, конъюгируют (соединяются), перекрещиваются, обмениваются участками. Чем дальше друг от друга расположены гены на хромосоме, тем больше вероятности их «отрыва» при кроссинговере. Чем ближе друг к другу их место на хромосоме, тем крепче они сцеплены. В результате разрыва и соединения в новом порядке нитей ДНК в гомологичных хромосомах осуществляется взаимный обмен их участками. Ранее сцепленные гены могут оказаться разделенными, и наоборот. В итоге создаются новые комбинации аллелей разных генов, происходит перегруппировка аллельных генов и появляются новые генотипы.

Кроссинговер может произойти в любой хромосоме. Гены, входящие в группы сцепления в хромосомах родительских особей, в результате кроссинговера разделяются, образуют новые сочетания и в таком новом виде попадают в гаметы. Потомство от таких гамет имеет новое сочетание аллельных генов, что служит источником генетической изменчивости, наблюдаемой в популяциях.

Кроссинговер — важный источник появления новых комбинаций генов в генотипах особей и возникновения изменчивости признаков.

Кроссинговер играет важную роль в эволюции, так как способствует возникновению наследственной изменчивости. Осуществляя перекомбинации генов, он создает возможность отбора отдельных генов, а не их сочетаний. Например, в хромосоме одновременно могут находиться как полезные, так и вредные для организма гены. Благодаря кроссинговеру новые перегруппировки генов, попав затем под действие отбора, могут привести к исчезновению вредных генов и сохранению полезных, что обеспечит преимущество существования в окружающей среде особи с таким генотипом. Новые генотипы, возникшие вследствие кроссинговера, в сочетании с действием естественного отбора могут дать новое направление в проявлении свойств живых организмов, обеспечивающее им большую приспособленность к условиям среды.

1. Сформулируйте закон Моргана.
- 2*. Каким образом кроссинговер нарушает сцепление генов?
- 3*. Уберите лишнее слово, искажающее правильность утверждения, и дополните высказывание нужным словом.
 - Сцепленными называются гены, лежащие в одном и том же генотипе.
4. Замените выделенные слова термином.
 - *Источник появления новых комбинаций в генотипах особей* обеспечивает возникновение наследственной изменчивости.

§ 22 Взаимодействие генов и их множественное действие

Ген является *структурной единицей наследственной информации*. Материально ген представлен участком молекулы ДНК (в редких случаях — РНК). Гены контролируют элементарные признаки в процессе индивидуального развития организма. Первые исследования природы гена, проводившиеся в начале XX в., в основном были направлены на выяснение роли гена в передаче наследственных признаков. Не менее важной задачей стала расшифровка закономерностей действия генов. Ее решение имеет не только теоретическое, но и практическое значение, поскольку позволит предотвратить возможные вредные последствия этого действия.

Исследования генетиков установили дискретный характер генов, что подтверждается их независимым друг от друга наследованием: каждый из генов определяет развитие какого-то признака, независимого от других. Однако между различными генами существуют разные типы взаимодействия, обусловленные сложными отношениями как между аллельными, так и между неаллельными генами. Объединяясь в генотипе, они все вместе выступают как система взаимодействующих между собой генов особи.

Среди взаимодействий генов следует назвать прежде всего отношения *доминантности и рецессивности*, когда рецессивная аллель гена под влиянием доминантной аллели не проявляется в фенотипе. Кроме того, имеются факты, показывающие, что гены влияют на проявление действий других, неаллельных генов. Описаны также случаи, когда развитие того или иного признака организма находится под контролем не одного, а многих генов. Например, у человека не менее четырех генов определяют различие в цвете кожи представителей негроидной и европеоидной рас.

Среди людей изредка (1:20 000-1:40 000) встречаются альбиносы (лат. *albus* — «белый»): у них белые волосы, очень светлая кожа, розовая или светло-голубая радужка глаз. Эти люди гомозиготны по рецессивному гену *a*, доминантная аллель которого отвечает за выработку в организме пигмента меланина. С помощью меланина кожа, волосы и глаза у человека приобретают окраску. Поэтому доминантную аллель *A* данного гена часто называют геном нормальной пигментации. Но оказывается, что у человека синтез и распределение меланина зависят от ряда других генов, лежащих в других локусах. Имеющийся у некоторых людей доминантный ген *F* вызывает пятнистое скопление меланина, обеспечивая появление веснушек, а другой доминантный ген *P* вызывает нарушение пигментации, из-за чего большие участки кожи остаются светлыми, непигментированными. Ряд генов, находящихся в других локусах, влияет на количество меланина в организме человека, обеспечивая различные оттенки цвета кожи, волос и глаз.

Существует множество примеров, показывающих, что степень развития одного и того же признака обусловлена влиянием целого ряда генов, проявляющимся сходным образом. Разные неаллельные гены как бы дублируют действия друг друга в проявлении данного признака. Эти взаимодействия генов называют *полимерией* (греч. *polymereia* — «многосложность»), а сами гены — *полимерными*.

По типу полимерии наследуются цвет кожи человека, высота растений, количество белка в эндосперме семян, содержание витаминов в плодах, сахаристость в корнеплодах сахарной свеклы, скорость протекания биохимических реакций в клетках, скорость роста и масса животных, яйценоскость кур, молочность коров и другие важные и полезные признаки организма.

Фенотипические признаки организма обычно определяются взаимодействием многих аллельных и неаллельных генов, действующих в одном направлении. Однако нередко случаи, когда один и тот же ген обуславливает несколько признаков. Это явление получило название *множественного действия гена*.

У садового растения *водосбор гибридный* ген, обуславливающий красную окраску цветка, одновременно определяет фиолетовый оттенок листьев, удлиненность стебля и большой вес семян. У всех цветковых растений гены, обеспечивающие красную (антоциановую) окраску цветков, одновременно контролируют красную окраску стебля в побеге. У плодовой мушки дрозофилы ген, определяющий отсутствие пигмента в глазах, влияет на окраску некоторых внутренних органов, вызывает снижение плодовитости и уменьшает продолжительность жизни особи. В Западном Пакистане обнаружены носители одного и того же гена, определяющего отсутствие как потовых желез на отдельных участках тела, так и некоторых зубов.

Полимерия, а также множественное действие одного гена и его аллелей свидетельствуют, что отношения между генами и проявлением признаков достаточно сложные. Они зависят и от взаимосочетания аллельных и неаллельных генов, и от их местоположения в хромосомах, и от поведения в мутациях, и от многих других факторов. Поэтому выражение «ген определяет проявление признака» достаточно условно.

Проявление признака и само действие гена всегда зависят от других генов — от всего генотипа, т. е. генотипической среды.

Понятие *генотипическая среда* введено в науку отечественным ученым С.С. Четвериковым в 1926 г. для обозначения комплекса генов, влияющих на воплощение в фенотипе конкретного гена или группы генов. Генотипическая среда представляет собой весь генотип, на фоне которого проявляют свое действие гены. Причем каждый ген будет реализоваться по-разному в зависимости от того, в какой генотипической среде он находится.

Рассматривая действие гена, его аллелей, необходимо учитывать не только генотипическую среду, влияющую на взаимодействие генов, но и воздействие окружающей среды, в которой развивается организм.

От внешней среды зависит *степень выраженности признака*, т. е. его количественные характеристики. Например, дрозофила, гомозиготная по рецессивной аллели, в фенотипе имеет маленькие (зачаточные) крылья. Более контрастно (более выражено) этот признак проявляется, если эта мушка развивалась при пониженной температуре. Этот пример показывает, что проявление признака (фенотип) — результат взаимодействия генов в конкретных условиях существования организма.

Все признаки организма (фенотип) развиваются в процессе взаимодействия генотипа и среды.

Только при совместном одновременном воздействии наследственности (генотипа) и среды проявляются признаки организма (фенотип). Способность генотипа реализоваться особым образом (по-разному) в различных условиях среды и реагировать на изменение условий обеспечивает организму возможность существовать в среде обитания, его жизнеспособность и развитие.

1. Чем отличается взаимодействие генов от их множественного действия?

2*. Объясните понятия «генотипическая среда» и «внешняя среда».

3. Замените выделенные слова термином.

• *Взаимодействия генов*, а также их *неоднозначные* действия приводят к выводу, что отношения между генами и признаками достаточно сложные.

4*. Дополните высказывание, выбрав правильные слова.

• Дублирующие действия разных генов в проявлении данного признака называют:

а) сцеплением;

в) наследственностью;

б) полимерией;

г) множественным действием.

§ 23 Определение пола и наследование признаков, сцепленных с полом

Большинство доказательств в пользу хромосомной теории наследственности, обоснованной Морганом, получено на основе опытов с дрозофилой. Внимательное цитологическое изучение клеток этой мушки помогло обнаружить различия между хромосомами самцов и самок. Это открытие дало основание для решения важного вопроса: какие механизмы определяют *пол* особей, т. е. их наиболее глубокие различия, влияющие на развитие многих признаков и органов, непосредственно связанных с половым размножением?

Оказалось, что в клетках дрозофилы четыре пары хромосом. Из них три пары у обоих полов одинаковы, а четвертую пару составляют хромосомы, различающиеся между собой по внешнему виду. У самок в четвертой паре находятся две прямые хромосомы, а у самцов — одна прямая и одна изогнутая. Прямые хромосомы получили название **X-хромосомы** (икс-хромосомы), а изогнутые — **Y-хромосомы** (игрек-хромосомы). Пару различающихся хромосом, неодинаковых у самца и самки, называют *половыми хромосомами* (X и Y). Все одинаковые по внешнему виду хромосомы в клетках раздельнополых организмов, кроме половых хромосом, называют **аутосомами** (от греч. *autos* — «сам» и *soma* — «тело») или *неполовыми хромосомами* (A). Внешний вид хромосом самца и самки дрозофилы показан на



Рис. 31. Набор хромосом мужской (♂) и женской (♀) особей дрозофилы. Половые хромосомы обозначены буквами X и Y, остальные — аутосомы

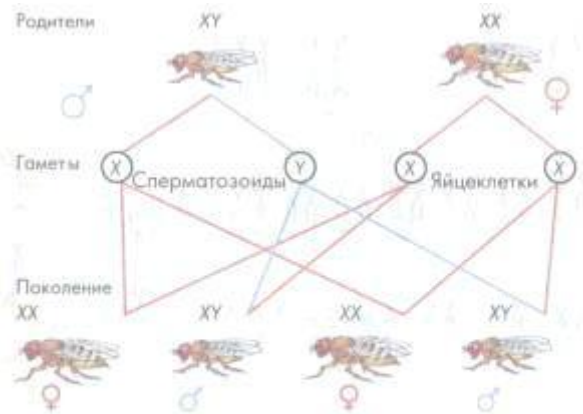


Рис. 32. Механизм определения пола у дрозофил. У самца образуются гаметы двух типов, у самки все гаметы одинаковые

рисунке 31. Общее число, размер и форму хромосом, характерных для того или иного вида организмов, называют *кариотипом* (от греч. *karyon* — «ядро» и *typos* — «форма», «образец»).

Все яйцеклетки (женские гаметы) дрозофилы в гаплоидном наборе (в геноме) содержат по четыре хромосомы, из которых одна X-хромосома. Сперматозоиды (мужские гаметы) также имеют по четыре хромосомы, но среди них одна половина сперматозоидов несет X-хромосому, а другая половина — Y-хромосому. Оплодотворение любой яйцеклетки сперматозоидом, содержащим X-хромосому,

дает начало зиготе женского типа XX. Но если оплодотворение яйцеклетки осуществлено сперматозоидом, содержащим Y-хромосому, то появляется зигота мужского типа XY (рис. 32).

Сходный способ определения пола присущ всем млекопитающим, в том числе и человеку.

Пол потомства определяется типом сперматозоидов, оплодотворяющих яйцеклетку.

Многочисленные исследования клеток растений, животных и человека подтвердили наличие мужских и женских половых хромосом.

Во всех соматических клетках (клетках тела) человека имеется 46 хромосом. У женщин они представлены 22 парами аутосом (неполовых) и парой половых хромосом XX, в то время как у мужчин — 22 парами аутосом и парой половых хромосом XY (рис. 33).

Как у всех организмов, у человека половые клетки (яйцеклетка и сперматозоид) имеют гаплоидный набор хромосом, образовавшийся в процессе редукционного деления в мейозе. Следовательно, каждая яйцеклетка имеет по 22 аутосомы и одной X-хромосоме. Сперматозоиды тоже имеют гаплоидный набор хромосом, но одна половина сперматозоидов в клетке помимо 22 аутосом имеет одну X-хромосому, а другая половина — 22 аутосомы и одну Y-хромосому.

При оплодотворении после проникновения в яйцеклетку сперматозоида с

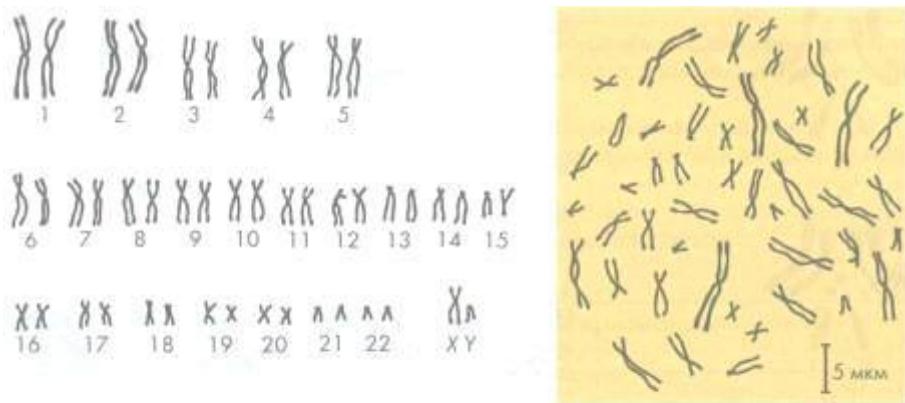


Рис. 33. Кариотип мужчины. Цифрами обозначены номера хромосом по принятой классификации, а буквами X и Y обозначены половые хромосомы. Идентификация хромосом и обозначение их номерами были предложены международной конференцией в 1960 г. Нумерация начинается с самых крупных хромосом и оканчивается самыми мелкими.

Y-хромосомой образуется зигота (XY), из которой развивается мальчик, а если проникнет сперматозоид с X-хромосомой, то из такой зиготы (XX) развивается девочка. Хромосомы X и Y задают начало всей цепи событий, которые приведут к подавлению признаков одного и проявлению признаков другого пола.

Пол человека контролируется генетически — генами половых X и Y хромосом.

Женщина (XX) всегда имеет одну X-хромосому от отца и одну X-хромосому от матери. Мужчина (XY) имеет X-хромосому только от матери. Этим обусловлена

особенность наследования генов, находящихся в половых хромосомах. У человека решающую роль в определении пола играет Y-хромосома.

Каждый человек наследует от своих родителей форму тела, группу крови, цвет кожи и глаз, биохимическую активность клеток и многое другое. При этом наследственность человека, как и всех других организмов, в проявлении признаков во многом идет по менделевским законам. Примеры наследования некоторых признаков человека показаны в таблице 1.

То, что дети похожи на своих родителей по тем или иным признакам, свидетельствует о наследственной обусловленности таких признаков.

Распределение родительских признаков в потомстве зависит от распределения родительских хромосом в мейозе и их последующего парного сочетания в зиготе при оплодотворении. Половые хромосомы содержат гены, определяющие не только половые, но и другие признаки организма, которые называют *сцепленными с полом*.

Таблица 1

Наследование некоторых признаков человека

Признак	Тип наследования	
	Доминантный	Рецессивный
Овал лица	Круглый	Продолговатый
Размер глаз	Большой	Маленький
Цвет глаз	Карий	Голубой
Тип глаз	Монголоидный	Европеоидный
Острота зрения	Близорукость	Нормальная
Цвет кожи	Смуглый	Белый
Наличие веснушек	Имеются	Отсутствуют
Цвет волос	Рыжий, каштановый	Светло-русый
Облысение	У мужчин	У женщин
Преобладание руки	Праворукость	Леворукость
Узоры на коже пальцев	Эллиптические	Циркулярные

Передачу генов, локализованных в половых хромосомах, и наследование признаков, контролируемых этими генами, называют *наследованием, сцепленным с полом*.

В половых хромосомах могут находиться гены, не имеющие отношения к половым признакам. Особенно много таких генов в X-хромосоме. По сравнению с ней Y-хромосома генетически инертна. Большинство генов X-хромосомы не представлены в Y-хромосоме. Поэтому наследование признаков, сцепленных с полом особи, может быть по-разному представлено у мужчин и женщин, у особей женского и мужского пола в животном мире.

Например, черепаховая окраска кошек (чередование черных и рыжих пятен) встречается только у самок. Этот факт долго не могли объяснить, пока не стало известно, что ген В — черной окраски и ген b — рыжей окраски расположены в X-хромосомах. В Y-хромосоме эти гены отсутствуют. Поскольку у мужской особи только одна X-хромосома, то кот может быть или черным, или рыжим, но не будет иметь черепаховую окраску, потому что для ее развития необходимо одновременное присутствие в организме обоих генов — В и b.

Обозначим X-хромосому, несущую доминантный ген В, — X^B , а X-хромосому с рецессивным геном в — X^b . По законам наследования возможны такие комбинации пар генов в хромосомах и их фенотипы: $X^B X^B$ — черная кошка; $X^b X^b$ — рыжая кошка; $X^b X^b$ — черепаховая кошка; $X^B Y$ — черный кот; $X^b Y$ — рыжий кот.

Различают три типа наследования, сцепленного с полом: наследование с помощью генов, локализованных в X-хромосоме; наследование, обусловленное присутствием аллелей одинаковых генов в X- и Y-хромосомах; наследование, наблюдаемое при наличии определенных генов только в Y-хромосоме.

Изучение наследования, сцепленного с полом, и механизма передачи признаков очень важно для повышения жизнеспособности живых организмов, для работы селекционеров, а также для выяснения причин наследственных заболеваний, обусловленных изменением наследственного материала организма.

1. Каким образом определить пол будущего организма?

2*. Постройте правильное утверждение.

• Общее число, размер и форму хромосом любого вида живых организмов называют:

- а) генотипом;
- б) X-хромосомой;
- в) Y-хромосомой;
- г) кариотипом.

3*. Включите в утверждение пропущенное слово.

Все одинаковые по внешнему виду хромосомы в клетках раздельнополых организмов, кроме ..., называют аутосомами.

4. Сколько хромосом в клетках человека?

§ 24 Наследственная изменчивость

В природе трудно найти двух абсолютно одинаковых особей даже в потомстве одной и той же пары родителей. Как вы уже знаете, свойство организмов существовать в разных формах или состояниях называется изменчивостью.

Изменчивость — общее свойство всех организмов. Она проявляется у них в целом ряде признаков. Например, даже два рядом растущих растения одного вида различаются между собой количеством побегов и плодов, размерами листьев и другими свойствами. Однако простыми наблюдениями не всегда можно определить, является изменчивость результатом нарушения генотипа (наследственно обусловленной) или она не вызвана нарушением генотипа. Установить это можно только путем эксперимента (например, скрещиванием).

Любой признак — это видимый результат реализации наследственности (генотипа) в данных условиях. Поэтому признаки зависят, с одной стороны, от генетических особенностей организма, а с другой — от условий его жизни.

Следовательно, изменчивость отражает взаимосвязь организма с окружающей средой и затрагивает любые его признаки и генетические структуры: гены, хромосомы и генотип в целом.

Окружающая среда непрерывно воздействует на организм, изменяя, ослабляя или усиливая проявление его наследственных признаков. В то же время в процессе размножения исходные организмы всегда производят потомство, подобное себе, осуществляя непрерывность жизни по принципу «клетка — от клетки», т. е.

«подобное рождает подобное». Потомство пары кошек — всегда кошки, так же как потомством одноклеточной водоросли хлореллы всегда будет хлорелла. Путем наследования свойств родителей потомству передается сходство с ними.

Однако потомство наследует лишь генетический материал, сосредоточенный в хромосомах. Поэтому дети наследуют от родителей не признаки и свойства, а гены, которые контролируют эти признаки и свойства. Причем сами гены (и хромосомы) в процессе мейоза и жизни особи претерпевают ряд изменений, которые обусловлены: действием сцепленного наследования признаков, а также наследования, сцепленного с полом; локализацией генов в хромосомах; доминированием аллельных генов и др. Это приводит к тому, что у потомства появляются свойства, которых не было у родителей и их предков. Возникшая таким путем изменчивость обеспечивает непохожесть потомков и родителей.

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

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

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

Изменение генотипа приводит, как правило, к изменению фенотипа.

В основе генотипической (наследственной) изменчивости обычно лежат новые комбинации аллелей, образующиеся в процессе мейоза, при оплодотворении или мутации. Поэтому наследственную (генотипическую) изменчивость подразделяют на два вида: *комбинативную* и *мутационную*. В обоих случаях нарушается структура гена и структура хромосом, т. е. изменяется последовательность нуклеотидов в ДНК, число хромосом, а также происходит расщепление пар аллелей генов; иными словами, меняется генотип. Все это и приводит к появлению новых наследуемых признаков.

Комбинативная изменчивость представляет собой результат перераспределения наследственного материала родителей среди их потомства. Перекомбинация, или рекомбинация, генов и хромосом обычно происходит при мейозе (в процессе кроссинговера, при расхождении гомологичных хромосом) и при оплодотворении. Комбинативная наследственная изменчивость является универсальным свойством



Николай Иванович
Вавилов (1887–1943)

всех организмов — от бактерий до высших растений и животных. Наблюдается она и у вирусов. Этот вид наследственной изменчивости имеет важное значение при эволюционных преобразованиях.

Мутационная изменчивость является результатом мутаций. Мутации (лат. *mutatio* — «изменение», «перемена») — это изменения наследственного материала, приводящие к появлению новых признаков организма, способных передаваться последующему потомству. Мутации могут быть естественно и искусственно вызванными. В природе они возникают чаще всего под влиянием *мутагенов* — факторов, порождающих мутации.

Естественные мутации могут затрагивать разнообразные стороны строения и функций организма. Например, у дрозофилы описаны

мутационные изменения формы крыльев, окраски тела, глаз, а также многих физиологических признаков (продолжительность жизни, плодовитость, устойчивость к повреждающим факторам и пр.).

Большинство мутаций нейтральны, однако бывают мутации, вредные для организма, некоторые (летальные) даже вызывают его гибель. Очень редко возникают полезные для организма мутации, которые улучшают какие-то свойства особи, но именно они, закрепленные в потомстве, дают ей некоторые преимущества в естественном отборе перед другими.

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

Важная закономерность наследственной изменчивости была выявлена выдающимся отечественным ученым — ботаником, генетиком и селекционером, Н.И. Вавиловым. Он установил, что по наследственным изменениям одного вида можно предсказать сходные изменения у сходных видов и даже родов.

Открытую им закономерность называют законом гомологических рядов в наследственной изменчивости или законом Вавилова.

Изучая изменчивость признаков у многочисленных видов и родов семейства злаков, Вавилов обнаружил, что у близкородственных видов и родов злаков процесс наследственной изменчивости идет параллельно и сопровождается появлением сходных признаков с такой правильностью, что, зная ряд форм у одного вида, можно прогнозировать появление подобных форм и у других родственных видов и родов. Эта закономерность хорошо прослеживалась также у бобовых, тыквенных, пасленовых, крестоцветных и других видов. Оказалось, что сходные ряды наследственной изменчивости обнаруживаются и на уровне родственных семейств (табл. 2).

Изменчивость наследственных признаков у представителей семейства бобовых

Таблица 2

Наследственные признаки	Горох	Вика	Бобы	Чечевица	Чина	Нут	Фасоль	Соя	Люцерна	Клевер
<i>Окраска цветка:</i>										
белая	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
розовая	+	+	·	·	·	+	+	+	+	+
красная	+	·	+	·	·	+	+	·	+	+
фиолетово-синяя	+	+	·	+	+	+	+	+	+	+
желтая	·	+	+	·	+	+	·	·	+	+
<i>Окраска семян:</i>										
белая	+	+	·	+	+	+	+	·	·	+
желтая	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
зеленая	+	+	+	+	+	·	+	+	+	+
серая	+	+	+	+	+	·	+	+	·	+
розовая	+	+	·	+	·	+	+	·	+	+
красная	+	+	+	+	·	+	+	+	·	+
коричневая (бурая)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
черная	+	+	+	+	+	+	+	+	·	·
<i>Окраска семядолей:</i>										
зеленая (серая)	+	+	·	+	+	·	+	+	·	+
желтая	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
красная (оранжевая)	+	+	·	+	+	·	+	·	·	·
<i>Окраска рубчика семени:</i>										
белая	+	+	+	+	+	+	+	+	·	·
бурая	+	+	+	+	+	·	+	+	+	+
черная	+	·	+	+	·	·	+	+	·	+
<i>Форма стебля:</i>										
прямой	+	·	+	+	·	+	+	+	+	+
выющийся	+	+	·	·	+	·	+	+	·	·
<i>Окраска всходов:</i>										
зеленая	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
с антоцианом	+	+	·	+	+	+	+	+	+	+
<i>Окраска стебля:</i>										
зеленая	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
фиолетовая										
(с антоцианом)	+	+	·	+	+	+	+	+	+	+
альбиносная	+	—	+	—	—	+	+	—	+	+

Н.И. Вавилов писал: «Целые семейства растений в общем характеризуются определенным циклом изменчивости, проходящей через все роды, составляющие семейство».

Теоретической основой установления рядов изменчивости признаков является представление о единстве происхождения родственных видов от общих предков, обладавших определенным набором генов, которые проявляются (или должны проявляться) у потомков в разных родах и видах. Исследования Вавилова касались непосредственно растений, но сформулированный им закон гомологических рядов наследственной изменчивости оказался применим и к животным.

1. Назовите причину наследственной изменчивости.

2*. Поясните роль генотипической изменчивости в живой природе.

3. В каждой строчке три термина определенным образом взаимосвязаны. Дайте их общую характеристику и определите четвертый термин, не имеющий к ним отношения.

а) Ген, изменчивость, генотип, наследственность.

б) Фенотип, признак, ген, мутация.

в) Комбинативная изменчивость, мутаген, мутация, генотипическая изменчивость.

§ 25 Другие типы изменчивости

По механизмам возникновения и характеру изменений признаков помимо наследственной (генотипической) выделяют еще два типа изменчивости — модификационную и онтогенетическую.

Модификационная изменчивость. Изменчивость, которая возникает без изменений в генотипе, называют *модификационной* (от лат. *modus*— «мера», «вид» и *facio*— «делаю»), или *ненаследственной* (фенотипической).

Модификационная изменчивость проявляется в *модификациях* — изменениях признаков организма (его фенотипа) под воздействием факторов внешней среды. Она не связана с изменением генотипа, но определяется им. Внешние воздействия могут вызывать у особи изменения, которые могут быть для нее вредными, безразличными или полезными — *приспособительные адаптации* (лат. *adaptatio*— «прилаживание», «приспосабливание»). Однако все модификации имеют относительный характер, действуют лишь в конкретных условиях и не сохраняются в иных условиях, так как не закреплены в генотипе и не наследуются.

Модификации проявляются в течение всей жизни организма, позволяя ему существовать в конкретных условиях среды.

Модификационные адаптации не наследуются.

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

Даже листья одного и того же растения имеют разные анатомо-физиологические и морфологические свойства. Например, у сирени на солнечной стороне куста листья имеют световую

структуру, а в глубине кроны и на теневой стороне — теневую структуру (рис. 34). У валлиснерии, стрелолиста, водяного лютика и многих других водных растений листья, находящиеся под водой и над водой, имеют разный внешний вид и внутреннюю структуру тканей и клеток (рис. 35).

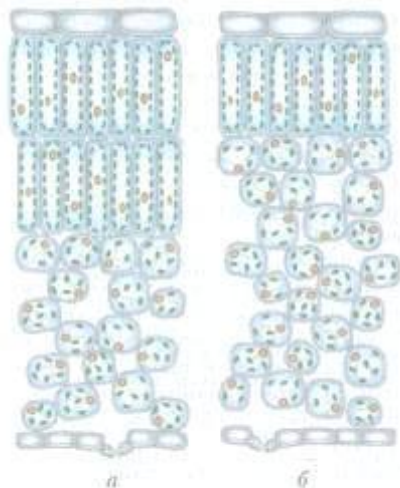


Рис. 34. Поперечный срез листа сирени: а — светового, б — теневого. Листья характеризуются разной толщиной столбчатой ткани в мезофиле листа.



Рис. 35. Пример модификационной изменчивости: стрелолист образует разные по форме листья в воде, на поверхности воды и над водой.

Под влиянием условий среды у некоторых видов животных может меняться даже пол. Например, у морского червя *бонеллии* зеленой самцы и самки имеют одинаковый генотип. Если только что вылупившиеся из яиц личинки развиваются изолированно, то все они будут самками, но если личинки оказываются рядом с половозрелыми самками, то становятся самцами. Через хоботок самки они проникают внутрь ее организма, мигрируют через ткани (как паразиты, питаются за счет самки), оседают в половых органах самки и оплодотворяют ее яйцеклетки. Пол самца *бонеллии* — это фенотипическое свойство, проявляющееся в присутствии взрослой самки, а пол самки — фенотип развития особи в местах, где нет взрослых червей (рис. 36).

Примеров модификационной изменчивости очень много. Они показывают, что даже организмы с одинаковым генотипом, но выросшие в разных условиях всегда различаются между собой по проявлению признаков, т. е. фенотипически. Такие признаки не передаются по наследству, так как не закрепляются в генотипе.

Модификации, наблюдаемые у *бонеллии* зеленой, или изменение формы листьев у стрелолиста, сирени, так же как увеличение удоев молока при обильном кормлении коров, усиление ветвления побегов при обрезке верхушечных почек, улучшение здоровья при употреблении витаминов и многие подобные примеры количественного характера, проявляются сходным образом у всех особей каждого вида. Поэтому модификационную изменчивость называют еще *групповой* (массовой) или *определенной*. Эти термины ввел Ч. Дарвин. Он отмечал, что определенная изменчивость наблюдается в тех случаях, когда все особи данной породы, или сорта, или вида под влиянием определенной причины изменяются одинаковым образом в одном направлении.

Норма реакции. У модификационной изменчивости есть довольно жесткие границы, или пределы, проявления признака, обусловленные генотипическим свойством особи. Пределы модификационной изменчивости признака организма

называют его **нормой реакции**. Норма реакции характеризует способность организмов данного вида реагировать (в пределах генотипа) на меняющиеся условия и возможность проявления признаков в тех или иных конкретных условиях особым образом. Одни признаки (например, яйценоскость, молочность, жиронакопляемость, масса и рост организмов), т. е. признаки количественного характера, обладают очень широкой нормой реакции, другие (окраска шерсти, семян, форма листьев, размер и форма яиц), т. е. качественные признаки, — очень узкой. Пределы нормы реакции определены генотипом.

Одомашненный перепел японский откладывает яйца, средний вес которых — 10 г.

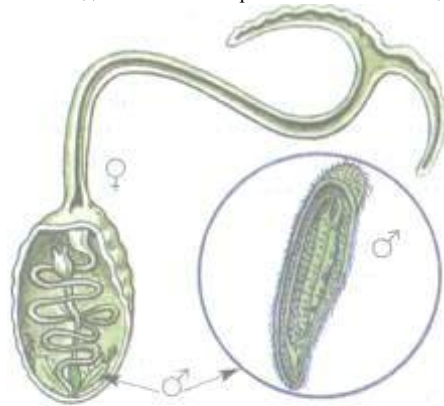


Рис. 36. Морской червь бонеллия зеленая: самка (♀) и самец (♂)

При усиленном белковом питании вес яиц может достигать 13-15 г. Однако вес нормального перепелиного яйца никогда не бывает больше 16 г — это верхний предел нормы реакции, закрепленный в наследственной информации у всех птиц этого вида. Обычно все качества особей не выходят за рамки нормы реакции данного вида.

Норма реакции выражает возможный размах изменчивости фенотипа в условиях окружающей среды, но ее пределы обусловлены генотипом особи.

Обычно подчеркивается обратимый характер модификации признаков. Например, человек под действием ультрафиолетовых (УФ) лучей приобретает защитное свойство — загар (т. е. усиленную пигментацию кожи). Степень загара у разных людей различна, но с прекращением

действия УФ-лучей загар постепенно исчезает. У некоторых рыб встречается смена пола на противоположный и обратно, причем иногда этот процесс занимает всего несколько минут (например, у окуней серанусов). В большинстве случаев модификации нестойки и исчезают, как только прекратится действие вызвавших их факторов, но они дают особям возможность выжить в конкретных изменившихся условиях.

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

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

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

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

Онтогенетическая изменчивость. Онтогенетической, или *возрастной*, изменчивостью называют закономерные изменения организма, произошедшие в

ходе его индивидуального развития (онтогенеза). При такой изменчивости генотип остается неизменным, поэтому ее относят к ненаследственной. Однако все онтогенетические изменения предопределены наследственными свойствами (генотипом), которые часто изменяются в ходе онтогенеза. В результате появляются новые свойства в генотипе. Это приближает онтогенетическую изменчивость к наследственной. Таким образом, онтогенетическая изменчивость занимает промежуточное положение между наследственной и ненаследственной изменчивостью (табл. 3).

Таблица 3

Типы изменчивости

Изменчивость		
Наследственная		Ненаследственная
Генотипическая	Онтогенетическая	Модификационная

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

1. Можно ли, улучшив условия кормления, превратить короткошерстных кошек в длинношерстных?

2*. Объясните роль нормы реакции в жизни особи и вида. 3. В каждой строке три термина определенным образом взаимосвязаны. Дайте их общую характеристику и определите четвертый термин, не имеющий к ним отношения.

- Модификационная, фенотипическая, мутационная, определенная (изменчивость).

- Онтогенетическая, наследственная, ненаследственная, адаптивная (изменчивость).

Лабораторная работа № 4 (см. Приложение, с. 231).

§ 26 Наследственные болезни, сцепленные с полом

Наследственных заболеваний и аномалий (уродств) в медицинской генетике насчитывается около 3000. Изучение и возможное предотвращение последствий генетических дефектов человека имеют очень большое значение для его сохранения как вида. В настоящее время около 4% новорожденных детей страдают от генетических дефектов. Считается, что примерно одна из 10 гамет человека несет ошибочную информацию, обусловленную мутацией. Гаметы с ошибками в генетическом материале становятся причиной выкидышей или мертворождений.

Все наследственные болезни можно подразделить на две большие группы: болезни, связанные с мутациями генов, и болезни, связанные с мутациями хромосом.

Генные болезни и аномалии. К ним относятся патологические состояния организма, которые возникают в результате мутации в каком-либо гене. Например, нарушение репликации ДНК приводит к изменению чередования пар нуклеотидов, что, в свою очередь, обуславливает «ошибки» метаболизма.

Многие врожденные (с которыми особь рождается на свет) аномалии и болезни вызываются нарушениями в генах, локализованных в X- или Y-хромосоме. В этих случаях говорят о *наследовании, сцепленном с полом*. Например, такая аномалия, как *дальтонизм* (неспособность различать красный и зеленый цвета), вызывается геном, локализованным в X-хромосоме.

У человека один из генов X-хромосомы отвечает за цветовое зрение. Рecessивная аллель не обеспечивает развитие сетчатки глаза, нужной для различения красного и зеленого цветов. Мужчина, несущий такой recessивный ген в своей X-хромосоме, страдает дальтонизмом, т. е. различает желтый и синий цвета, но зеленый и красный ему кажутся одинаковыми. Дальтонизм не передается по мужской линии, так как свою X-хромосому мужчины-дальтоники получают от матери, носителя дефектного гена (рис. 37). Женщина может быть дальтоником лишь в случае, когда отец — дальтоник, а мать — носитель этого recessивного гена.

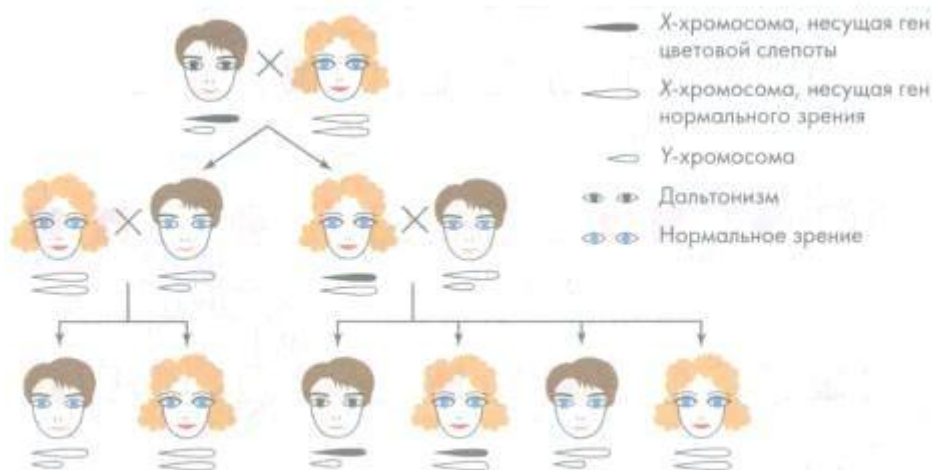


Рис. 37. Наследование сцепленного с полом признака — дальтонизма. Мужчина-дальтоник передает этот признак через свою дочь внуку

Сцепленно с полом (гены находятся в X-хромосоме) наследуются также различные типы *гемофилии*, при которой кровь не свертывается и человек может погибнуть от потери крови даже при небольшой царапине или порезе.

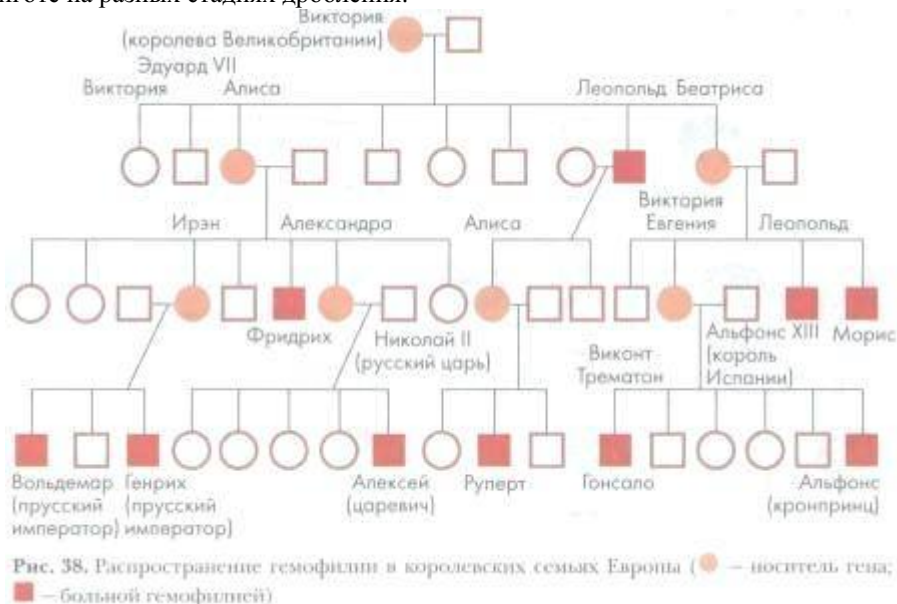
Это заболевание встречается у мужчин, матери которых, будучи здоровыми являются носителями recessивного гена гемофилии.

Установлено, что гемофилия вызывается recessивным геном, расположенным в X-хромосоме, поэтому женщины, гетерозиготные по данному гену, обладают нормальной свертываемостью крови. В браке со здоровым мужчиной (не гемофиликом!) женщина передает половине своих сыновей X-хромосому с геном нормальной свертываемости крови, а половине — X-хромосому с геном гемофилии. Причем дочери имеют нормальную свертываемость крови, но половина из них могут быть носительницами гена гемофилии, что скажется в дальнейшем на потомках мужского пола.

Распространение гемофилии по наследству хорошо изучено среди потомков королевских семей Европы. Схема распространения гемофилии в этих семьях представлена на рисунке 38.

Хромосомные болезни. Этот тип наследственных заболеваний связан с изменениями числа или структуры хромосом. В большинстве случаев эти изменения не передаются от больных родителей, а возникают при нарушениях в расхождении

хромосом во время мейоза, когда формируются гаметы, или при нарушениях митоза в зиготе на разных стадиях дробления.



Из хромосомных (аутосомных) заболеваний наиболее подробно изучена *болезнь Дауна*. Это заболевание связано с нерасхождением при делении 21-й хромосомы. В результате такой аномалии клетки эмбриона имеют 47 хромосом вместо обычных для человека 46. Хромосома-21 оказывается не в двойном, а в тройном количестве (*трисомия*).

Типичные признаки больных с синдромом Дауна — широкая переносица, раскосые глаза с особой складкой века, всегда открытый рот с большим языком, умственная отсталость. Около половины из них имеют пороки сердца. Болезнь Дауна встречается довольно часто. Однако у молодых матерей (до 25 лет) такие дети рождаются редко (0,03-0,04% новорожденных), а у женщин старше 40 лет почти 2% детей появляются на свет с синдромом Дауна.

Вследствие пониженного иммунитета такие больные не живут долго, поэтому они практически не встречаются среди взрослых людей. Больные обычно бесплодны, но известно несколько случаев, когда женщины с синдромом Дауна имели детей. Наряду с описанной трисомией по 21-й хромосоме бывает и *моносомия* по этой аутосоме (в хромосомном наборе 45 хромосом, 21-я — непарная). Это тоже тяжелое заболевание, новорожденные обычно нежизнеспособны. Вследствие нерасхождения женских половых хромосом образуются как *моносомии* (X0), так и *трисомии* (XXX) и *полисомии* (XXXXY). Моносомия (X0)



Рис. 39. Метод пренатальной диагностики наследственных заболеваний

связана с половым недоразвитием женщин. Для хромосомных болезней, развивающихся вследствие нарушений количества хромосом, в качестве сопутствующего симптома характерна умственная отсталость.

Некоторые генетические аномалии человека удается выявить еще на стадии раннего эмбрионального развития. Для этого применяют так называемую пренатальную (до рождения) диагностику (рис. 39). С помощью шприца получают 10-15 мл амниотической (околоплодной) жидкости, в которой находятся клетки плода. Путем центрифугирования ее разделяют на клетки, культивируемые затем на искусственной среде, и жидкость, где определяют соотношение продуктов обмена веществ, отражающее нормальное или патологическое состояние плода. Культивируемые эмбриональные клетки используют для определения числа хромосом и выявления возможных хромосомных аномалий.

Методами ранней диагностики можно определить более 100 хромосомных и генных аномалий уже в первые недели беременности. В некоторых случаях необходимо прервать беременность, в других проводится коррекция дефекта специальными препаратами. В будущем ученые надеются освоить методы замены дефектных генов нормальными, что позволит устранять причину болезни, а не только ее симптомы.

Наследственные болезни человека свидетельствуют о существенном воздействии мутаций на организм. Многие из них обусловлены внешними факторами и образом жизни человека. В настоящее время к факторам, вызывающим мутации (мутагенам), можно отнести наркотики, никотин, алкоголь, химические загрязнители воды, почвы и воздуха, радиоактивные отходы, пестициды, всевозможные пищевые добавки, лекарства, косметические средства, красители и другие вредные вещества. Их воздействием на организм объясняется повышение частоты опасных мутаций, в связи с чем одной из насущных проблем медицины становится обеспечение генетической безопасности человека.

1. Объясните различие молекулярных и хромосомных заболеваний. 2*. Каким образом факторы внешней среды вызывают наследственные болезни?

3. Выберите из предложенных число хромосом в диплоидной клетке человека с синдромом Дауна: а) 22; б) 23; в) 44; г) 47.

4*. Гены красно-зеленого дальтонизма и гемофилии расположены у Х-хромосоме. Объясните, почему эти аномалии чаще проявляются у мужчин.

Краткое содержание главы

Развитие генетики как науки связано с именем Г. Менделя. В опытах на горохе он вскрыл важнейшие закономерности наследования признаков организмов. Позже было доказано, что признаки определяются дискретными единицами — генами, передающимися потомству с половыми клетками родителей в процессе размножения. Поэтому каждый наследственный признак всегда определяется парой генов. Совокупность генов у организма — это генотип: он выражает задатки и определяет возможности развития признаков — фенотип.

Ген — это определенный участок ДНК. Гены могут быть представлены разными аллелями (вариантами состояния, формами гена) — доминантными и рецессивными. Доминантная аллель обычно маскирует рецессивную у гетерозиготного организма в первом гибридном поколении F_1 (закон единообразия), но

та и другая аллели проявляются во втором гибридном поколении F_2 в соотношении 3:1 (закон расщепления). Гены передаются потомству независимо (закон независимого наследования). Независимое наследование генов в полной мере осуществляется лишь в том случае, если гены находятся в разных хромосомах (закон сцепления генов).

Пол млекопитающих, в том числе и человека, обусловлен половыми хромосомами X и Y .

Изменения в наследственном материале, вызванные различными причинами (кроссинговер в процессе мейоза, оплодотворение, мутации), обуславливают наследственную изменчивость и соответствующие изменения в проявлении тех или иных признаков организма. Изменчивость является важным фактором эволюции в природе, так как дает основной материал для естественного и искусственного отбора, селекции растений, животных и микроорганизмов.

Изменчивость — явление, противоположное наследственности. Различают следующие типы изменчивости: наследственную (генотипическую), ненаследственную (модификационную) и онтогенетическую (возрастную).

Наследственность определяет то, каким может стать организм, а изменчивость выявляет способность проявления признаков. Степень выраженности наследуемых признаков зависит от среды, проявляется в пределах нормы реакции, т. е. в определенной степени обусловлена генотипом организма.

Проверьте себя

1. Охарактеризуйте первый и второй законы Г. Менделя.
2. В чем сходство и различие третьего закона Г. Менделя и закона Т. Моргана?
3. Какова роль наследственности и изменчивости в живой природе?
4. Универсальны ли законы Г. Менделя и применимы ли они к человеку?
5. Охарактеризуйте зависимость между понятиями «ген», «аллель», «кроссинговер».
6. Что такое мутация? Когда и где происходят мутации?
7. Какие виды скрещивания изучал Г. Мендель?
8. В чем отличие сцепленного действия генов от множественного действия генов?

Проблемы для обсуждения

1. У человека рецессивный ген s определяет врожденную глухонемоту. Наследственно глухонемой мужчина женился на женщине с нормальным слухом. Их ребенок имеет нормальный слух. Определите генотип матери и ребенка.

2. У растений томата ген пурпурной окраски стеблей (A) доминирует над геном зеленой окраски (a), а ген красной окраски плодов (R) доминирует над геном желтой окраски (r). Если скрестить два растения томата, гетерозиготных по обоим признакам, то какой будет среди потомков доля растений:

- а) с пурпурными стеблями и желтыми плодами;
- б) с зелеными стеблями и красными плодами;
- в) с пурпурными стеблями и красными плодами? Ответ объясните.

3. У некоторых людей клетки содержат только одну X-хромосому (мозаики), но людей, обладающих только Y-хромосомой, не существует. Объясните причину этого явления.

4. Можно ли считать продолжительность жизни человека наследуемым признаком?

5. Какие идеи генетики нашли отражение в мировоззрении людей?

Основные понятия

Генетика. Ген. Генотип. Фенотип. Доминантный признак. Рецессивный признак. Аллель. Мутация. Скрещивание. Сцепленное наследование. Хромосома, X- и Y-хромосомы. Гибрид. Наследственность. Изменчивость. Норма реакции.

Глава 5

Основы селекции растений, животных и микроорганизмов

Изучив главу, вы сумеете:

- дать генетическое обоснование селекции новых организмов;
- объяснить значение неродственного и близкородственного скрещивания;
- охарактеризовать механизм создания гибридной ДНК у микроорганизмов;
- раскрыть основные особенности селекции растений, животных и микроорганизмов.

§ 27 Генетические основы селекции организмов

Все основные культурные растения и домашние животные сформировались в доисторический период. Культивирование растений и приручение животных позволяли обеспечить потребности людей в питании и одежде. Первые попытки одомашнивания животных и выращивания некоторых растений делались более 22 тыс. лет назад. На территории Средней Азии, Закавказья, юга России уже в каменном веке знали пшеницу. Находки археологов в Ираке (горный Курдистан) показывают, что в VII тысячелетии до н. э. здесь возделывали пшеницу — дикую однозернянку. X тысячелетие до н. э. считается началом истории культивирования многих растений и одомашнивания животных.

Домашние животные и культурные растения произошли от диких предков. Человек еще на заре своего становления приручал необходимых ему животных, собирал семена полезных растений и высевал их около своего жилища, обрабатывал землю, а для новых посевов отбирал лучшие семена и корни. Такое воздействие со стороны человека на условия выращивания вызвало изменения животных и



Рис. 40. Связь селекции с различными областями производства продуктов питания и других биологических материалов.

растений, в том числе мутационные. Длительный отбор растительных и животных организмов обусловил появление культурных форм с особыми свойствами, нужными человеку. Однако основная роль в эволюции культурных растений и домашних животных принадлежит мутациям, отбору и селекции — целенаправленному выведению новых сортов растений и пород животных с заданными человеком свойствами.

В настоящее время, учитывая рост населения Земли, требуется увеличение производства сельскохозяйственных продуктов. Решающая роль в выполнении этой задачи принадлежит селекции растений, животных и микроорганизмов.

Селекция — это наука, изучающая биологические основы и методы создания и улучшения пород животных, сортов растений и штаммов микроорганизмов.

Селекцией называют также отрасль сельскохозяйственного производства, занимающуюся (с опорой на законы генетики) практическим выведением новых сортов и гибридов культурных растений, пород животных и штаммов микроорганизмов с нужными человеку свойствами.

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

В настоящее время селекция ценных для человека организмов обогатилась достижениями геной и клеточной инженерии, а также биотехнологии. Роль селекции в обеспечении человека продуктами сельского хозяйства и микробиологического производства показана на рисунке 40.

Свойства живых организмов определяются их генотипом, подвергаются наследственной и модификационной изменчивости, поэтому развитие селекции базируется на законах генетики как науки о наследственности и изменчивости. В селекции на практике воплощаются закономерности передачи наследственности и изменчивости организмов.

Теоретической основой селекции является наука генетика, изучающая закономерности наследственности и изменчивости организмов.

Главными методами селекции выступают искусственный отбор, гибридизация, мутагенез и полиплоидия.

Искусственный отбор — это выбор человеком наиболее ценных для него особей животных и растений данного вида, породы или сорта для получения от них потомства с желательными свойствами. Теоретические основы этого метода заложены еще Ч. Дарвином, выделившим два направления в этом методе: *бессознательный* и *методический (сознательный)* искусственный отбор. Бессознательный отбор осуществляется с давних времен: люди отбирают по внешним признакам и размножают лучших, с их точки зрения, домашних животных и образцы культурных растений. Методический искусственный отбор предполагает целенаправленное создание новых форм культивируемых растений и животных с использованием методов селекции и различных технологий.

Искусственный отбор ведется человеком по отдельным, интересующим его признакам.

Благодаря искусственному отбору появились новые формы организмов, существенно отличающиеся от их предков — дикорастущих растений и диких животных. Это хорошо видно на примере початков кукурузы при сопоставлении предковых и современных сортов растений с необходимыми человеку признаками (рис. 41).

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

Гибридизация может осуществляться в пределах одного вида между особями разных форм (*внутривидовая гибридизация*) или между особями разных видов (*межвидовая*, или *отдаленная, гибридизация*). Все созданные гибриды характеризуются гетерозиготностью по многим генам. При этом первое поколение гибридов (F_1) обычно характеризуется высокой жизнеспособностью, большей плодовитостью и более значительными размерами по сравнению с родительскими формами.

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

Ярким примером гетерозиса является мул — гибрид, полученный скрещиванием лошади с ослом. Эти крупные животные значительно сильнее и выносливее лошади. Мулы обычно используются для перевозки тяжелых грузов в трудных условиях, например в горах, на больших высотах. Своей окраской и формой тела они похожи на осла. Мулы как мужского, так и женского пола бесплодны.

Мутагенез (от лат. *mutatio* — «изменение» и греч. *genesis* — «происхождение») — это процесс возникновения наследственных изменений (мутаций) под влиянием различных физических и химических факторов (мутагенов). По характеру возникновения различают мутации *естественные* (спонтанные) и *искусственные* (индуцированные).

Мутагенез — один из основных методов в селекции.

Большинство мутаций, возникающих под влиянием мутагенов, вредны для организма, но некоторые улучшают его свойства, оказываются интересными для человека и используются в селекции при получении нужных ему форм.

Полиплоидия — наследственное изменение, характеризующееся многократным увеличением гаплоидного набора хромосом в клетках организма. Встречается преимущественно у растений и простейших. Большинство культурных растений полиплоидны, так как содержат более двух наборов хромосом.

Полиплоидия возникает в результате нарушения расхождения хромосом в митозе или мейозе под действием факторов внешней среды (ионизация, низкие температуры, химические вещества), встречается в природе и в экспериментах. Наблюдаются случаи умножения всего хромосомного набора в три, четыре и более

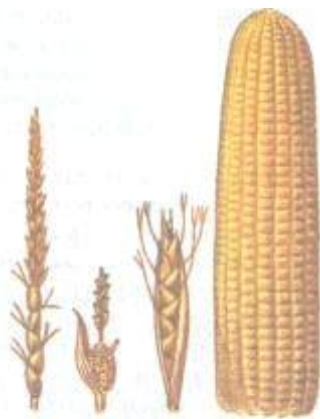


Рис. 41. Початки кукурузы современного сорта и древних сортов, которые возделывали ацтеки в Центральной Америке

раз. Организмы, имеющие такой набор хромосом в клетках, называют триплоидными, тетраплоидными, полиплоидными.

Полиплоидные растения можно получить искусственным путем, блокируя расхождение удвоившихся хромосом различными химическими веществами. Наиболее часто с этой целью применяют алкалоид колхицин, получаемый из растения безвременника (*Colchicum autumnale*).

Полиплоиды, т. е. особи с увеличенным количеством хромосом, часто характеризуются крупными размерами, устойчивостью к неблагоприятным условиям окружающей среды, повышенным содержанием ряда веществ, ценных в хозяйственном отношении. Поэтому полиплоидия как способ создания изменчивости организмов широко используется в селекции, особенно растений. В селекции животных этот метод не применяется, потому что полиплоидия обуславливает нарушение пропорций отдельных органов. Это неприемлемо для животных из-за затруднения их движения, нарушения регуляции работы органов и организма в целом.

1. Чем занимается селекция?
2. Охарактеризуйте главные методы селекции.
- 3*. В каждой строчке три термина определенным образом взаимосвязаны, имеют общую область применения. Дайте им характеристику и определите четвертый, не имеющий к ним отношения, термин.
 - а) Генетика, гибридизация, селекция, биотехнология.
 - б) Полиплоиды, мутации, мутагены, искусственный отбор.
 - в) Гибрид, штамм, сорт, гетерозис.

§ 28 Особенности селекции растений

В настоящее время выращивается более 3 тыс. видов пищевых, лекарственных, волокнистых, красильных, технических, эфиромасличных и декоративных растений. Почти все они ведут начало от дикорастущих предков.

Преобладающее число растений, возделываемых на полях, огородах и в садах разных областей земного шара, приобретало свой культурный облик под воздействием человека. Длительный искусственный отбор и целенаправленная работа селекционеров обеспечили создание культурных форм растений, значительно отличающихся от своих древних предков.

Например, *фасоль обыкновенная* (*Phaseolus vulgaris*) вошла в культуру стараниями аборигенов Центральной и Южной Америки. Это произошло путем одомашнивания вида *фасоль аборигенная* (*Phaseolus aborigineus*) — однолетней лианы, встречающейся в диком виде в лесах Мексики, Гватемалы и Венесуэлы и в настоящее время. У дикорастущей фасоли в плодах (бобах) образуется 2-3 крупных семени, тогда как у некоторых сортов культурной фасоли в плодах содержится 10-13 семян. То же наблюдается у многих зерновых растений. Так, у пшеницы в колосьях ее культурных сортов созревает в 2-3 раза больше зерновок, чем у дикорастущих форм. Но особенно большие различия наблюдаются в весе зерновок. 1000 семян дикорастущей пшеницы весят 5-6 г, тогда как 1000 семян культурной — 40-50 и даже 60 г. Селекционеры изменили не только количество семян, их вес, величину, но и запас питательных веществ (особенно количество и качество белков), всхожесть семян, а также размеры стебля, степень кущения, облиственность и другие свойства злаковых.

Однако есть и такие культурные растения, которые приобрели свои свойства в результате внезапной (спонтанной) мутации (т. е. ошибки при воспроизведении генетического материала под влиянием мутагенов), случайной гибридизации между видами или путем полиплоидии. Впоследствии с помощью отбора и

целенаправленной гибридизации эти полезные для человека свойства были закреплены и размножены.

В создании новых форм культурных растений сочетается все разнообразие методов селекции. Основное значение в селекции культурных растений принадлежит мутациям, спонтанной и искусственной гибридизации между разными видами и полиплоидами.

Особенно широко в селекции растений используется *полиплоидия*. Большинство культурных растений на Земле являются полиплоидами.

Человечество питается в основном продуктами растительной полиплоидии. Углеводы в виде крахмалов и Сахаров дают нам гексаплоидные и тетраплоидные пшеницы, тетраплоидные виды картофеля, мультиплоидные формы сахарного тростника, триплоидная сахарная свекла, гексаплоидные культурные овсы и др.

Жители Южной Азии, Океании, Тропической Африки, Латинской Америки получают углеводы от полиплоидных батата и банана. Во всем мире потребляется огромное количество полиплоидов сливы, вишни, ананаса, абрикоса, винограда, триплоидов и тетраплоидов яблоны и груши, октоплоидов земляники (т. е. клубники) и многих других видов и сортов фруктов и ягод.

Растительные белки дают полиплоиды риса, пшеницы, кукурузы, сорго. Жирные пищевые масла также в основном доставляют в наш организм полиплоидные культуры (арахис, подсолнечник, хлопчатник, рапс, маслина). Полиплоидные корма (люцерну, брюкву) используют в питании домашних животных.

До XX в. земледельцы использовали главным образом полиплоиды, возникшие естественным путем. Но с развитием генетики, когда стала проясняться сущность полиплоидии, начали успешно создавать полиплоидные сорта с нужными качествами, что значительно обогатило сортовое и, главное, качественное разнообразие культурных растений. В подавляющем большинстве случаев полиплоиды значительно превосходят исходные диплоидные растения по многим ценным для человека качествам.

Наиболее часто в селекции пищевых, технических, декоративных и других растений используется *искусственная гибридизация* с сопутствующим ей явлением гетерозиса. Имеется много примеров успешного получения продуктивных сортов в результате преодоления бесплодности гибридов отдаленной межвидовой гибридизации. Например, отечественный генетик Г.Д. Карпеченко в 1926 г. создал плодоносящий гибрид при скрещивании редьки и капусты, используя экспериментальную полиплоидию.

В 50-х гг. XX в. Н.В. Цицину удалось получить межродовой полиплоидный гибрид пшеницы с пыреем, на основе которого был создан новый сорт зерно-кормовой пшеницы, с большим урожаем зерна и с огромной укосной массой кормовой соломы. Сходным образом получен гибрид пшеницы с рожью, названный *тритикале*. С получением тритикале была решена одна из важнейших проблем в селекции пшеницы — создание сортов с высокой морозостойкостью.

Многие сортовые линии тритикале отличаются повышенной морозостойкостью, скороспелостью и хорошей прочной соломой, устойчивой к полеганию. Содержание белка в зерне и муке повышенное, хлебопекарные свойства в смеси с пшеничной мукой отличные. В настоящее время имеется много сортов тритикале в Швеции, Германии, Венгрии, Канаде, США, Японии и других странах. Там, как и в России, сорта тритикале хорошо растут на разных почвах.

На первом этапе селекции в нашей стране основным методом был отбор лучших сортов растений, которые выращивались в крестьянских хозяйствах. Так, из местных форм были выведены десятки сортов пшеницы, ржи, гречихи, гороха, лука и других культур с повышенной продуктивностью и урожайностью. Начиная с 20-х гг. XX в. постепенно увеличивалась доля новых сортов гибридного происхождения.

Селекционеры совершенствовали технологию гибридизации, разрабатывали принципы подбора родительских пар, методы оценки гибридов и приемы отбора.

Эффективным оказался метод ступенчатой гибридизации, при которой повторно скрещивают ранние поколения гибрида с другими гибридами и сортами. В итоге получают сложный гибридный материал для дальнейшего отбора. Этим методом был получен ценнейший широко распространенный сейчас сорт яровой пшеницы Саратовская-29. П.П. Лукьяненко, используя для гибридизации географически и экологически отдаленные формы, получил один из лучших по продуктивности сорт озимой мягкой пшеницы — Безостая-1. Замечательные сорта озимой пшеницы создал В.Н. Ремесло (Мироновская-808, Юбилейная-50 и др.). Методами скрещивания и отбора В.С. Пустовойт вывел на Кубани ценный сорт подсолнечника, содержащий в семенах более 50% масла. До этого самые высокомасличные сорта подсолнечника содержали в семенах не более 30-32% масла. Методами внутривидовой и отдаленной гибридизации с помощью отбора селекционеры создали много морозоустойчивых сортов плодовых и ягодных культур, что позволило развивать садоводство в условиях севера, в районах рискованного земледелия.

1. Почему полиплоидия широко используется в селекции растений?

2*. Почему гетерозис не является методом селекции?

3*. Назовите известные вам местные сорта полевых и огородных культур.

§ 29 Центры многообразия и происхождения культурных растений

Успех селекционной работы во многом зависит от качества исходного материала, главным образом от его генетического разнообразия. Чем разнообразнее исходный материал для селекции, тем больше возможностей он предоставляет для гибридизации и отбора. Селекционеры, пользуясь биологическим, генетическим и экологическим разнообразием растительного мира, создали огромное количество различных сортов культурных растений.

Современные культурные растения выращивают одновременно в разных странах, на разных континентах. Однако каждое из этих растений имеет свою историческую родину — *центр происхождения*. Именно там находились или находятся и поныне дикорастущие предки культурного растения, там сформировались его генотип и фенотип.

Учение о центрах происхождения культурных растений создано выдающимся русским ученым Н.И. Вавиловым.

В 20-30-х гг. XX в. Н.И. Вавилов вместе с коллективом сотрудников Всесоюзного института растениеводства (ВИР), где многие годы он был директором, провел обследование культурной флоры планеты. Многочисленные экспедиции работали в Иране, Афганистане, Средиземноморье, Восточной Африке, Центральной Азии, Японии, Северной, Центральной и Южной Америке, в различных регионах нашей страны. Ученые исследовали около 1600 видов культурных растений с их сортовыми вариациями. Из экспедиций были привезены тысячи образцов семян различных культур. Они высевались в питомниках ВИРа, расположенных в разных экологических условиях и разных географических зонах нашей страны. Эти уникальные коллекции семян являлись и служат сейчас ценнейшим материалом для селекционной работы.

Широкомасштабные ботанико-географические исследования, участие в экспедициях, изучение богатейшего коллекционного материала и истории

земледелия дали возможность Н.И. Вавилову сделать важные обобщения и выдвинуть идеи, обогатившие теорию селекции и генетики, разработать теорию о центрах многообразия и происхождения культурных растений. Ученый установил, в частности, что размеры и продуктивность культурных растений выше, чем родственных им диких видов, но их генофонд менее разнообразен, чем генофонд исходного дикого вида. Поэтому изучение признаков диких предков культурной формы очень важно для выявления устойчивости растений к болезням и паразитам, морозостойкости, засухоустойчивости, плодовитости, чтобы использовать их при выведении новых сортов.

Таблица 4

Основные центры происхождения культурных растений

Название центра и количество возникших здесь культурных видов (% от 1000 — общего числа изученных)	Культурные растения, возникшие в этом центре от древних культур
1. Южноазиатский тропический (около 50%)	Сахарный тростник, огурец, баклажан, цитрусовые, шелковица, манго, банан, кокосовая пальма, черный перец.
2. Восточноазиатский (20%)	Соя, просо, овес, гречиха, чумиза, редька, персик, чай, актинидия.
3. Юго-Западноазиатский (14%)	Пшеница, рожь, горох, чечевица, лен, конопля, дыня, яблоня, груша, слива, абрикос, вишня, виноград, миндаль, гранат, инжир, лук, чеснок, морковь, репа, свекла.
4. Средиземноморский (11%)	Пшеница, овес, рожь, капуста, сахарная свекла, укроп, петрушка, маслина, лавр, малина, дуб пробковый, клевер, вика.
5. Абиссинский	Сорго, твердая пшеница, рожь, ячмень, кунжут, хлопчатник, клещевина, кофе, финиковая пальма, масличная пальма.
6. Центральноамериканский	Кукуруза, фасоль, картофель, тыква, батат, перец, хлопчатник, табак, махорка, сизаль (волоконная агав), авокадо, какао, орех-пекан.
7. Андийский (Южноамериканский)	Картофель, кукуруза, ячмень, амарант, арахис, томат, тыква, ананас, папайя, маниок, гевея, хинное дерево, фейхоа, кока, бразильский орех (бертоллетия).

Н.И. Вавилов вначале выделил 8 центров происхождения культурных растений с рядом подцентров, но в более поздних работах укрупнил их в 7 основных первичных центров (см. табл. 4 и рис. 42).

Большинство центров совпадают с древними очагами земледелия, причем это преимущественно горные, а не равнинные районы. Ученый выделил *первичные* и *вторичные* центры происхождения культурных растений. Первичные центры — это родина культурных растений и их диких предков. Вторичные центры — это районы возникновения новых форм уже не от диких предков, а от предшествующих

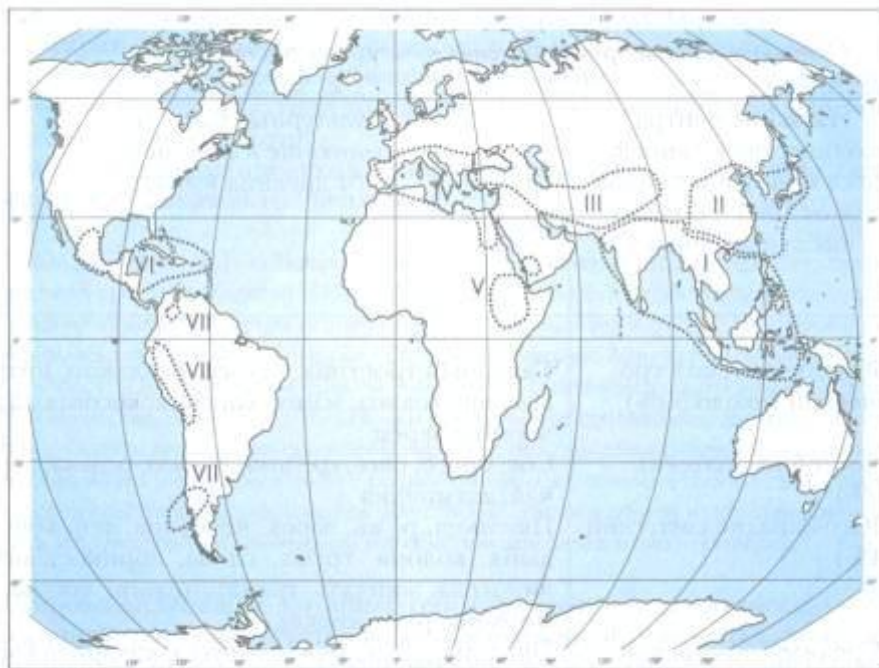


Рис. 42. Основные географические центры происхождения культурных растений: I – Южноазиатский тропический; II – Восточноазиатский; III – Юго-Западноазиатский; IV – Средиземноморский; V – Абиссинский; VI – Центральноамериканский; VII – Андийский (Южноамериканский)

культурных форм, сосредоточенных в одном географическом месте, нередко далеко от первичного центра.

Не все культурные растения возделываются в местах своего происхождения. Миграции народов, мореплавание, торговля, экономические и природные факторы во все времена способствовали многочисленному перемещению растений в другие районы Земли.

Растущий в Эфиопии дикий вид кофе (*Coffea arabica*) стал важнейшей широко распространенной культурой в Латинской Америке. Арахис, родина которого — Северная Аргентина и Южная Боливия, выращивается теперь на огромных площадях в Тропической Африке. Дикорастущая в Амазонии гевея (дерево-каучуконос) одомашнена в Юго-Восточной Азии. Первичным центром подсолнечника масличного (*Helianthus annuus*) является Северная Америка, где он и сейчас распространен в диком виде, но Россия, куда он попал в XVII в., стала родиной уже культурного грязового и масличного подсолнечника.

Первичный центр цитрусовых находится в Гималаях и Юго-Восточной Азии, а вторичные центры возникли в Испании, Италии и Америке. Подобных примеров множество.

В иных местообитаниях растения изменялись и давали начало новым формам культурных растений. Их разнообразие объясняется мутациями и рекомбинациями, появляющимися в связи с произрастанием растений в новых условиях.

Исследование происхождения культурных растений привело Н.И. Вавилова к выводу, что центры формообразования важнейших растительных культур в значительной мере связаны с очагами человеческой культуры и с центрами разнообразия домашних животных. Многочисленные зоологические исследования подтвердили этот вывод.

Учение о происхождении и эволюции культурных растений считается одним из существенных разделов селекции. Н.И. Вавилов писал, что вся селекционная работа, начиная с исходного материала, установления основных областей происхождения видов и кончая созданием новых сортов, является, по существу, новым этапом в эволюции растений, а саму селекцию можно рассматривать как эволюцию, направляемую волей человека.

1. Поясните, в чем заключается различие между первичным и вторичным центрами происхождения культурных растений.

2*. Какое значение для практической селекции имеет учение о центрах происхождения культурных растений?

3. Какие закономерности выявил Н.И. Вавилов, исследуя центры происхождения культурных растений?

§ 30 Особенности селекции животных

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

Домашние животные разводятся человеком с разными целями: для получения продовольственных продуктов (мясо, молоко, яйца), промышленного сырья (шерсть, кожа, перо и др.), как тягловое и транспортное средство, для удовлетворения многих других потребностей, в том числе эстетических.

Искусственный отбор и последующее применение различных способов селекции создали те специализированные формы домашних животных, которые используются человеком и в настоящее время в разных частях света.

В различные периоды жизни человеком были одомашнены многие животные: большинство видов крупного рогатого скота, лошади, овцы, свиньи, куры, утки, собаки, кошки, кролики и др. Первыми одомашниванию (приручению и разведению) подвергались животные, ведущие стадный или стайный образ жизни. Позже стали одомашнивать и животных, ведущих одиночный образ жизни: пушных зверей (соболь, *серебристая лисица*, норки, нутрия), виды, перспективные в продовольственном направлении (антилопа, лось, марал, пятнистый олень, сазан), дающие лечебные яйца (перепел), а также отвечающие декоративным целям (птицы: *волнистые попугайчики*, канарейки; рыбы: *гуппи*, скалярии, мечехвосты и др.). В наши дни повторно происходит одомашнивание страуса для получения мяса, яиц и перьев.

Одомашнивание, или *доместикация* (лат. *domesticus* — «домашний»), животных началось еще на заре истории человечества, т. е. более 10 тыс. лет назад. С ростом оседлости населения Земли этот процесс значительно ускорился и увеличился по охвату приручаемых видов.

Районы одомашнивания животных совпадают с центрами происхождения культурных растений.

Об этом писал Н.И. Вавилов, о том же свидетельствуют современные зоологические и археологические исследования и находки. Например, в районе Южноазиатского центра культурных растений были одомашнены собака, свинья, куры, гуси, утки, тутовый шелкопряд и индийский слон; в Юго-Западно-азиатском центре — овцы, козы, верблюд. В Средиземноморье (полагают, что это произошло в Греции) был одомашнен тур — предок европейских видов крупного рогатого скота; в степях Причерноморья — лошади. В районе Южноамериканского центра вошли в состав домашних животных лама, альпака и индейка.

На первых этапах одомашнивание осуществлялось бессознательно. Люди оставляли нужных им животных без специальной цели изменить их свойства. Например, сохраняли для разведения лишь животных неагрессивных или способных размножаться в неволе. Человек бессознательным отбором сохранял и разводил полезных ему животных, изменяя их поведение, приучая к жизни в особых, домашних условиях. Но постепенно, как и в случае с растениями, человек перешел к осознанному способу изменения признаков у животных, их селекции.

Еще не зная законов наследственности, но опираясь на опыты разведения животных (от лучших производителей может быть лучшее потомство), человек стал сознательно осуществлять их отбор с заранее планируемой целью — получить у потомства животных специальные признаки и свойства, которые соответствуют запросам человека. Этот сознательный, методический искусственный отбор послужил началом селекции животных. Вспомните пример родословной лошадей, записанной 6 тыс. лет назад в Двуречье (§ 17).

Искусственный отбор и селекция обеспечили большое разнообразие специализированных форм домашних животных. У животных существенно изменялись морфофизиологические признаки (окраска, размеры и масса, общая форма тела, волосяной покров, жиротложение, плодовитость) и поведение.

Ученые отмечают, что особенно показательным признаком одомашнивания животных явилось уменьшение их головного мозга. Изменилось и поведение: домашние животные утратили ряд инстинктов своих диких предков, связанных с необходимостью ориентироваться в окружающей среде, добывать пищу, выращивать потомство, но стали более спокойными, продуктивными и плодовитыми.

Со временем отбор и селекция обеспечили у одомашненных видов большое разнообразие пород, т. е. групп животных, характеризующихся сходным генотипом (и нормой реакции), определяющим их специализацию и продуктивность (рис. 43).

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

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

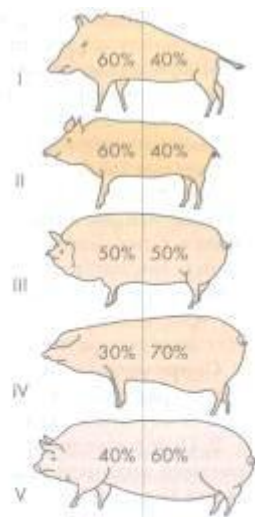


Рис. 43. Изменение тела свиньи в результате одомашнивания и селекции: I — дикий тип; II — одомашненный тип; III — крупный тяжелый (мясо-сальный) тип; IV — мясной тип; V — современный мясной тип. Соотношение массы передней и задней частей тела у типов разной специализации показано в процентах.

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

В птицеводстве селекционеры стараются выявить и закрепить сцепленные с полом признаки, которые проявляются уже у суточных цыплят. Ведь очень важно в самом раннем возрасте отобрать будущих кур-несушек и отсадить от них петушков для выращивания на племя или для откорма на мясо. Поэтому для выявления пола цыплят используют ген медленной оперяемости — курочки быстрее обрастают пером, чем петушки, и это заметно уже в первые дни после вылупления. В яичном птицеводстве часто используют сцепленную с полом окраску пера.

В гибридизации животных особенно широко употребляют два типа скрещивания: близкородственное (инбридинг) и неродственное (аутбридинг).

Инбридинг (от англ. *in* — «внутри» и *breeding* — «разведение») — скрещивание особей, имеющих общих предков. Общность происхождения, родство скрещиваемых организмов увеличивают вероятность присутствия одних и тех же аллелей любых генов. Это ведет к увеличению числа гомозиготных организмов, что важно для сохранения признаков, ценных с хозяйственной точки зрения.

Аутбридинг (англ. *out* — «вне») — скрещивание неродственных особей одного и того же вида. Неродственность подразумевает отсутствие общих предков в ближайших 4-6 поколениях. Аутбридинг противопоставляется инбридингу, так как в связи с неродственностью особей при их скрещивании увеличивается вероятность присутствия у них разных аллелей определенных генов. Аутбридинг используется для повышения или сохранения определенной степени гетерозиготности особей.

Современные методы селекции животных. В последние годы селекция животных обогатилась новыми методами улучшения пород.

1. В методике скрещивания стали применять *искусственное осеменение*.
2. При разведении сельскохозяйственных животных и в рыбоводстве увеличение потомства ценных животных-производителей достигается путем создания условий для одновременного созревания нескольких яйцеклеток. Яйцеклетки извлекаются после оплодотворения и пересаживаются приемным матерям менее ценных пород или менее продуктивным женским особям той же породы.
3. В настоящее время в селекции активно внедряются методы *клонирования* — выращивания организмов из одной клетки.
4. С помощью мутагенов получают мутации, вызывающие мужскую стерильность (используемые далее в селекционных программах), или маркируют (метят) хромосомы рецессивными летальными генами, что позволяет контролировать сохранение потомства одного нужного пола.

Например, индуцированные гамма-лучами перестройки хромосом успешно используются в селекции тутового шелкопряда. Известно, что коконы самцов этого шелкопряда на 25-30% продуктивнее

коконов самок (длина нити, целостность кокона, уложенность нити в коконе и пр.). Поэтому шелководы стремятся выкармливать и разводить преимущественно самцов. Обработанные гамма-лучами самцы при скрещивании с любой здоровой самкой шелкопряда обеспечивают гибель всего женского потомства и сохранность мужского. Таким же способом обрабатываются самцы некоторых насекомых-вредителей сельскохозяйственных культур и растений леса для биологической борьбы с ними.

Современные методы практической селекции, основанные на знаниях генетики, раздвинули рамки возможностей создания новых, нужных человеку признаков и свойств у домашних животных.

1. Зачем в животноводческих хозяйствах ведут строгий учет признаков потомков на протяжении ряда поколений?

2*. Почему центры одомашнивания животных совпадают с центрами происхождения культурных растений?

3. Замените выделенные слова в каждом утверждении одним термином.

- *Превращение диких животных в домашних путем приручения, содержания и разведения обусловило развитие животноводства как отрасли сельского хозяйства.*

- *Близкородственное скрещивание особей, имеющих общих предков, широко используется в гибридизации животных.*

4. Завершите высказывание.

- Для повышения или сохранения определенной степени гетерозиготности особей в селекции животных используется ...

§ 31 Основные направления селекции микроорганизмов

Микроорганизмы (микробы) — бактерии, микроскопические грибы и простейшие — играют важную роль в жизни природы и человека. Они используются в разных областях промышленности (в хлебопечении и виноделии, в производстве кормового белка, молочнокислых продуктов, антибиотиков, витаминов, гормонов, аминокислот, ферментов), в сельском хозяйстве (при производстве силоса), для биологической защиты растений и очистки сточных вод. В связи с этим развивается промышленная микробиология и ведется интенсивная селекционная работа по выведению новых штаммов микроорганизмов с повышенной продуктивностью веществ, необходимых человеку.

Микроорганизмам свойственна наследственная изменчивость — мутации. С помощью отбора мутаций создаются активные штаммы микроорганизмов, ценных для человека. Особенно широко и успешно в создании новых штаммов используется искусственный (индуцированный) мутагенез.

Путем обработки плесневых грибов актиномицетов мутагенами получают различные антибиотики, используемые в медицине для спасения жизни людей при самых различных заболеваниях. Искусственный мутагенез обеспечил создание целого ряда высокопродуктивных штаммов микроорганизмов, вырабатывающих витамины (например, витамины B₂, B₁₂), белки и аминокислоты намного эффективнее, чем это делают их исходные формы.

Мутационная селекция микроорганизмов сыграла большую роль в развитии микробиологической промышленности. Промышленным путем на основе массового выращивания низших грибов и бактерий при создании штаммов-продуцентов производят белково-витаминные концентраты, антибиотики, витамины, гормоны, аминокислоты и другие биологически активные вещества.

Методы селекции микроорганизмов. В основном это те же методы, которые используются и в селекции других организмов. Но микроскопические размеры и огромная скорость размножения микроорганизмов обуславливают разработку

особых методов, ускоряющих процесс получения новых высокопродуктивных штаммов.

Генная инженерия представляет собой целенаправленные манипуляции с генетическим материалом в клетках микроорганизмов — это совокупность методов воздействия на ДНК, позволяющих переносить наследственную информацию из одного организма в другой. В частности, создаются новые комбинации генетического материала, способного, размножаясь в клетке-хозяине, синтезировать вещества, которые человек использует для своих нужд. Новые комбинации генетического материала сначала осуществляют *in vitro*, т. е. в пробирке. Путем гибридизации молекул ДНК от разных одноклеточных организмов получают молекулы, в которых содержатся новые, ранее отсутствовавшие в ней гены. Созданная таким способом гибридная молекула ДНК затем вводится в клетку-хозяина (обычно бактерий или дрожжей), которая после введения начинает синтезировать белок, кодируемый этими генами. Поскольку бактерии размножаются очень быстро, то таким способом удастся получить сразу много идентичных копий от нужного гена и, следовательно, путем биосинтеза создать много нужных человеку веществ.

Один из методов генной инженерии, получивший развитие в наше время, — создание гибридной (рекомбинантной) ДНК. Для этого ДНК одного организма вводится в клетки другого организма. Например, гены высших организмов вносят в бактериальные клетки. Сначала ген, предназначенный к переносу, вводят в кольцевую молекулу ДНК и сращивают с ней. Затем такая гибридная ДНК помещается в бактериальную клетку, где ведет себя так же, как хромосома. Новый ген в гибридной ДНК перед делением клетки реплицируется (удваивается) вместе с бактериальной ДНК, а сама бактерия получает возможность вырабатывать белок, кодируемый ее новой ДНК (рис. 44).

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

Многие из этих лечебных средств раньше получали только одним, весьма трудоемким путем — экстрагируя (вытягивая) из клеток человека. Но в середине 80-х гг. XX в. средствами генной инженерии удалось ввести в бактериальные клетки три гена человека, ответственных за синтез интерферона. Это позволило наладить его промышленное производство, выпускать в достаточном количестве и продавать по доступной цене. Подобные манипуляции были произведены и с другими генами, контролирующими синтез необходимых человеку биологически ценных веществ.

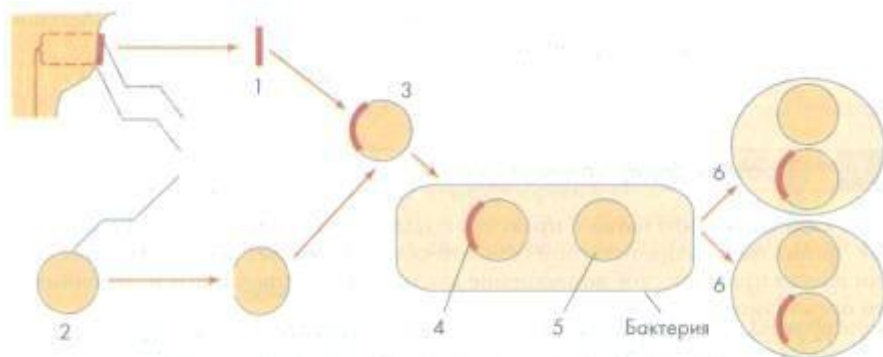


Рис. 44. Получение и передачи гибридной ДНК в дочерние клетки: 1 — сегмент ДНК, предназначенный для переноса; 2 — ДНК донора; 3 — ДНК донора с вставленной в нее новой ДНК (гибридная ДНК-донор); 4 — бактериальная ДНК; 5 — кольцевая ДНК в клетке бактерии; 6 — гибридная ДНК в клетках следующих поколений

Клеточная инженерия — это метод конструирования клеток нового типа путем гибридизации их содержимого. При гибридизации искусственно объединяют целые клетки разных организмов, создавая новый *гибридный геном* (совокупность генов в гаплоидном наборе хромосом вида). Также путем манипуляций (реконструкции) создают новую жизнеспособную клетку из отдельных фрагментов разных клеток (ядра, цитоплазмы, хромосом и др.) пересадкой ядер, слиянием протопластов (т. е. всего содержимого клетки без ядра и клеточной стенки) клеток разных видов.

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

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

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

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

1. Какие методы применяются в селекции микроорганизмов?
2. В чем отличие генной инженерии от клеточной инженерии?
- 3*. Сравните методы селекционной работы для получения гибридов у растений и микроорганизмов.
4. Какое значение в народном хозяйстве имеет биотехнология?

Краткое содержание главы

Селекция — это наука и практика создания новых пород, сортов и штаммов организмов. Теоретической основой селекции является генетика. В селекции нашли практическое воплощение законы наследственности и изменчивости организмов.

Все культурные растения и домашние животные происходят от диких предков. Одомашнивание растений и животных началось на Земле в центрах происхождения культурных видов, совпадающих с центрами развития цивилизации. Учение о центрах происхождения культурных видов создал отечественный ученый Н.И. Вавилов.

Одомашнивание растений и животных происходило искусственным отбором, вначале бессознательным, но позже люди стали применять селекцию для улучшения качеств культурных растений и домашних животных. Основными методами в селекции культурных видов растений и животных являются искусственный отбор, мутагенез, гибридизация и полиплоидия.

В последние годы стала активно развиваться селекция микроорганизмов. Она ведется теми же основными методами селекции, но способность микроорганизмов очень быстро размножаться позволила широко внедрить в их селекцию методы генной и клеточной инженерии, представляющие новое направление в промышленном производстве — биотехнологию. Биотехнология, используя

достижения биологии, генетики, экологии, микробиологии, молекулярной биологии, биохимии, иммунологии, широко развивается в настоящее время во всех странах.

Проверьте себя

1. Что называют сортом, породой, штаммом?
2. Какие особенности характерны для гетерозисных организмов?
3. Каковы отношения между искусственным отбором и селекцией?
4. Какую роль в народном хозяйстве выполняет селекция микроорганизмов?
5. Назовите основные методы селекции.
6. Назовите известные вам сорта плодовых или овощных растений, пород животных.

Проблемы для обсуждения

1. Охарактеризуйте положительные и отрицательные стороны инбридинга у животных.
2. Почему мужская стерильность оказывается полезной при селекции некоторых культур?
3. Раскройте роль спонтанных и искусственных мутаций в селекции а) растений; б) животных; в) микроорганизмов.
4. Почему из большого разнообразия видов животных, обитающих на Земле, человек отобрал для одомашнивания очень немного видов?

Основные понятия

Селекция. Центр происхождения. Искусственный отбор. Гибридизация. Скрещивание. Мутагенез. Полиплоидия. Гетерозис. Генная инженерия. Клеточная инженерия. Биотехнология.

Глава 6

Происхождение жизни и развитие органического мира

Изучив главу, вы сумеете:

- охарактеризовать современные представления о происхождении жизни и ее развитии;
- назвать два основных этапа происхождения и развития жизни;
- объяснить, какие условия обеспечили возникновение жизни на древней Земле;
- описать этапы формирования первых организмов на Земле.

§ 32 Представления о возникновении жизни на Земле в истории естествознания

Проблемы возникновения и развития жизни на Земле занимают центральное место в естествознании, с давних пор привлекают внимание всех философов и натуралистов и вызывают споры и разногласия.

При обсуждении вопроса о происхождении жизни учеными выдвинуто множество гипотез, которые и сейчас еще требуют достоверных подтверждений, несмотря на убедительность доводов. Большинство предположений, на которых основываются эти гипотезы, являются умозрительными. Ведь история Земли не сохранила материальных свидетельств появления первейших организмов нашей планеты. Воспроизвести же экспериментальным путем те очень давние (древнейшие) процессы в современных условиях невозможно, так как изменились сама Земля, ее общий облик и состояние, ее атмосфера и условия жизни на ней.

Все многообразие точек зрения на происхождение жизни на Земле сводится к двум основным взаимоисключающим гипотезам: биогенеза и абиогенеза.

Сторонники *биогенеза* (от греч. *bios* — «жизнь» и *genesis* — «происхождение», «возникновение») утверждают, что все живое происходит только от живого, тогда как сторонники *абиогенеза* (греч. *a* — частица отрицания) считают возможным происхождение живого из неживого.

Идею абиогенеза (зарождения организмов из неживой природы) активно развивали философы Древней Греции: Эмпедокл, Демокрит (V в. до н. э.) и особенно — Аристотель (IV в. до н. э.). Эта идея была широко распространена также в Древнем Китае, Вавилоне и Египте.

Эмпедокл утверждал, что первые живые существа возникли из четырех элементов материи: огня, воздуха, воды и земли.

Демокрит полагая, что из ила и воды при участии огня могут самопроизвольно зарождаться живые существа, например рыбы. Саму жизнь он рассматривал как следствие механических сил природы: из соединения многих атомов образуются тела, а распад атомов ведет к их гибели. В процессе вихревого движения атомов появляется множество как отдельных тел, так и миров, которые возникают и уничтожаются естественным путем.

Аристотель также считал, что некоторые растения и животные могут самозарождаться из неживой материи. Это происходит в тех случаях, когда в неживом материале имеется некое «активное начало». Именно оно, подобно энергии, способно в благоприятных условиях привести к появлению живого из неживого вещества. Например, из куска гниющего мяса под влиянием этого «активного начала» могут

зародиться черви, а из червей — мухи. Вот еще одно его утверждение: «Живое может возникать не только в результате спаривания животных, но и от разложения почвы». Идеи Аристотеля о самозарождении жизни сохраняли власть над умами многих видных ученых очень долго, вплоть до XIX в. Например, в XVI в. известный врач Парацельс пытался опытным путем доказать самозарождение лягушек, мышей, черепах, угрей из воды, воздуха, соломы, гниющего дерева и других неживых предметов. Даже Ж. Б. Ламарк уже в XIX в. писал о самозарождении некоторых грибов.

Теории самопроизвольного зарождения жизни из неживой материи стали подвергать сомнению только в XVII в. Итальянский биолог и врач Франческо Реди в середине XVII в. сделал открытие, которое положило начало исследованиям биогенеза. Реди высказал предположение и подтвердил его серией опытов, что живое не возникает самопроизвольно, а появляется из живых организмов.

Ф. Реди проводил такие эксперименты. В сосуды помещал куски мяса различных животных. Одни сосуды плотно закупоривал, чтобы воздух не имел доступа к кускам мяса. Другие сосуды оставлял открытыми. Спустя некоторое время в открытых банках появлялись «черви» (личинки мух), а в закупоренных их не было. В своей работе «Эксперименты над зарождением насекомых» в 1668 г. он, обобщая свои наблюдения, высказал предположение, что «черви» появились в результате полового размножения мух на гниющем мясе, а у самого гнилого мяса нет другой функции, кроме как служить питанием для мух и быть местом откладки их яиц.

Однако одной или двух серий экспериментов оказалось недостаточно для опровержения идей о самозарождении живого, ибо слишком много было в природе явлений, которые ученые того времени не могли объяснить. Чудесным казалось само возникновение из почвы растений, животных или грибов там, где их раньше не было. Как это происходит, было неясно. Ведь наука тех времен не имела микроскопа, не знала многих процессов и закономерностей развития организмов, которые в наши дни известны даже младшим школьникам.

Через несколько лет после опытов Ф. Реди голландец А. ван Левенгук, используя микроскоп, открыл невидимый ранее мир живой природы: простейших и бактерий, о существовании которых даже не подозревали. Но и это не разрушило идею о самозарождении жизни. Только в конце 70-х гг. XIX в. опытами, блестяще поставленными великим французским биологом Л. Пастером, удалось доказать, что «неживое вещество», например мясо, легко заражается живым — вездесущими бактериями, яйцами мух, плесневыми грибами и другими микроорганизмами. В своих опытах Пастер использовал колбы с длинным изогнутым горлышком. Такое горлышко свободно пропускало воздух в колбу, но служило ловушкой для частиц пыли и микроорганизмов. Бактерии могли проникнуть в колбу и вызвать разложение находящегося в ней бульона только в том случае, когда горлышко в колбе было отломлено (рис. 45). Опыты Л. Пастера доказали несостоятельность позиции

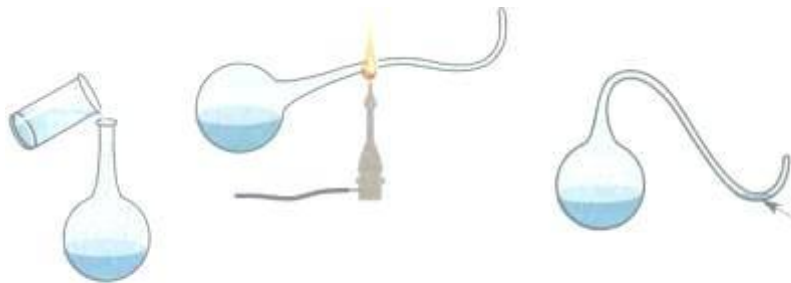


Рис. 45. Опыты Л. Пастера с колбами (стрелкой отмечены задерживающиеся в изогнутом горлышке пыль и микроорганизмы)

абиогенеза, утвердив идеи биогенеза.

Однако признание биогенеза вызвало серию новых вопросов: как и когда на Земле возникла жизнь? Какими были первые существа нашей планеты? Где они появились? В поисках ответа на первый и главный вопрос — «Как возникла жизнь на нашей Земле?» — сформировались следующие основные гипотезы:

1. Жизнь на нашу планету занесена извне, из Вселенной — *теория панспермии* (от греч. *pan* — «всё» и *sperma* — «семя»).

2. Жизнь на Земле существовала всегда, но она претерпевала различные катаклизмы — *теории стационарного состояния*.

3. Жизнь возникла на Земле в результате биохимических процессов в условиях еще очень молодой планеты. Эту современную гипотезу называют *теорией биохимической эволюции*.

Обсуждение и критика различных теорий биогенеза обусловили развитие, с одной стороны, современных научных представлений об эволюции органического мира, а с другой — учения о происхождении жизни (теория биохимической эволюции) на Земле, убедительно раскрывающего условия зарождения жизни на планете Земля.

1. В чем основное различие идей биогенеза и абиогенеза?

2*. Почему гипотеза о внезапном самозарождении организмов так долго продержалась в естествознании?

3. Выберите правильный ответ.

• Доказательство того, что жизнь не зарождается самопроизвольно, привел:

- | | |
|---------------|---------------------|
| а) Ф. Реди; | в) А. ван Левенгук; |
| б) Л. Пастер; | г) Аристотель. |

§ 33 Современные представления о возникновении жизни на Земле

В 1924 г. отечественный ученый-биохимик А.И. Опарин опубликовал труд «Происхождение жизни», заставивший весь мир по-новому взглянуть на вопрос о происхождении жизни на Земле.

Согласно гипотезе, выдвинутой Опариним, жизнь зародилась на Земле, а не привнесена из космоса.



Александр Иванович
Опарин (1894–1980)

В своей работе Опарин подчеркивал, что первые предшественники организмов (*протобионты*) в ходе ряда химических и физических процессов (этап *химической эволюции*), происходивших на протяжении длительного времени в условиях молодой планеты, приобрели свойства организмов. После этого начался этап борьбы за существование и отбора живых существ в соответствии с закономерностями, выявленными Ч. Дарвином (этап *биологической эволюции*).

Великой заслугой А.И. Опарина является создание теории *эволюции живой материи*. Ее основные идеи: первоначально жизнь возникла в Мировом океане как результат химической эволюции (т. е. абиогенно);

развитие живой материи и появление большого разнообразия форм жизни произошли в процессе биологической эволюции (т. е. биогенно), которая стала вторым, начавшимся после химической эволюции, важнейшим этапом развития жизни в истории Земли. В дальнейшем А.И. Опарин неоднократно уточнял и углублял свои идеи, подкрепляя их новыми исследовательскими материалами.

Сходную с опаринской точку зрения в 1929 г. высказал английский ученый Дж. Холдейн. В конце 50-х гг. XX в. ее развил английский физик Дж. Бернал, который считал, что скопление органических молекул происходило путем кристаллизации первых полимерных молекул на минеральных частицах. Отечественный ботаник и микробиолог Н.Г. Холодный полагал, что первоначально возникли не белки, а углеводороды, причем жизнь зародилась не в Мировом океане, а на мелководьях после образования суши. Были и другие гипотезы, но все они не противоречат друг другу в главном, а лишь показывают возможность различных путей появления первичных организмов на нашей планете.

Какие же условия были на Земле в то время, когда возникли первые организмы?

Согласно современным научным данным, Земля образовалась примерно 4,5-7 млрд лет назад из скопления газов и холодных (замерзших) пылевых частиц, состоявших из металлов и других химических элементов, окружавших формирующуюся молодую звезду — Солнце. Вначале Земля была газообразной и холодной, но по мере сжатия пылевых облаков, под действием гравитации и под влиянием тепла от распада радиоактивных элементов ее недра сгущались, разогревались и расплавлялись. При этом захороненные внутри планеты газы выделились наружу и образовали первичную газовую атмосферу формирующейся Земли.

Первичная атмосфера по своему составу сильно отличалась от современной: в ней присутствовало значительное количество водорода, были молекулы воды (в виде пара), углекислого газа, метана и аммиака. Свободного кислорода в земной атмосфере не было. Образовавшаяся Земля обладала достаточно большой массой, что позволяло ей удерживать в своем окружении газы. В то же время она находилась на таком расстоянии от Солнца, чтобы получаемого количества энергии хватало для поддержания воды в жидком состоянии.

В результате разогревания Земля стала очень горячей, и вода, испаряясь с ее поверхности, образовала скопление густых облаков пара, окутавших молодую планету. Пары воды, охлаждаясь на высотах, превращались в жидкость и в виде ливней выпадали на горячую поверхность Земли. Такие ливни шли тысячелетиями, заполняя водой все впадины и трещины земной поверхности, образуя Мировой океан и одновременно вызывая охлаждение верхних слоев планеты.

В дождевой воде растворялись химические вещества из атмосферы и земной коры: метан, аммиак, цианистый водород, углекислый газ и многие другие. Вода, стекавшая в океаны, приносила с собой неорганические вещества, из их соединений с водой образовались различные соли. С ливневыми дождями в водоемы попадали и молекулы простейших органических веществ, возникавших в атмосфере под влиянием ультрафиолетовых лучей и электрических разрядов молний.

Накопление органических веществ превратило воды Мирового океана в своего рода бульон, содержащий смесь различных органических молекул. Эти молекулы, находясь близко друг от друга и вступая между собой в различные взаимодействия, создавали более сложные соединения. Так случалось бесчисленное количество раз в течение очень длительного времени, исчисляемого миллиардами лет. Среди множества образовавшихся соединений возникали отдельные сложные молекулы, в

том числе белки, липиды, нуклеиновые кислоты, сахара и др., которые затем могли стать «живой» молекулярной системой в виде клетки, существующей в водной среде.

Предположение о том, что в водах Мирового океана было растворено большое количество органических веществ, получило подтверждение в ряде экспериментов, проведенных учеными в наше время.

В 1953 г. американский биохимик С. Миллер создал установку, позволившую смоделировать древнейшие условия первобытной Земли. В итоге эксперимента им были синтезированы из неорганических веществ органические, в том числе соединения со сложными молекулами: ряд аминокислот, аденин, различные углеводы — сахара, и среди них рибоза. Другие исследователи в подобных опытах синтезировали молекулы простых нуклеиновых кислот в виде небольших цепей из шестимономерных единиц.

А.И. Опарин считал, что главная роль в превращении органических веществ в организм принадлежит белкам, так как они способны образовывать коллоидные комплексы, притягивающие к себе воду и тем создающие вокруг себя своеобразную оболочку. Другие ученые полагают, что помимо белков большую роль в создании комплексов играли нуклеиновые кислоты. Такие комплексы благодаря диффузии могли слипаться и сливаться друг с другом, удаляя лишнюю воду. Этот процесс был назван ученым *коацервацией*, а сами белковые комплексы — *коацерватными каплями* или *коацерватами*. Со временем у коацерватов появилась оболочка и они оказались способными к поглощению веществ, богатых энергией, и благодаря этому — к увеличению массы и размеров. Однако опыты, проведенные рядом ученых, подтверждают лишь саму возможность таких процессов в те далекие времена.

Коацерваты представляли собой первые «организации» молекул.

Увеличиваясь в размере, коацерваты разделялись на более мелкие частички — так был обозначен путь размножения первичных живых организмов. Для поддержания устойчивости коацерватам была нужна энергия, которая, по-видимому, была представлена различными химическими связями. Устойчивость некоторых коацерватов обеспечивала им сохранение и существование. Возможно, именно такие устойчивые структуры со временем (а этот процесс длился миллионы лет) и дали начало первым живым организмам в виде живой клетки, где нуклеиновые кислоты установили первичный контроль над основными внутриклеточными процессами, в том числе и такими, как питание, рост и размножение. Ученые считают, что эти первые формы жизни на Земле появились примерно 3500-3900 млн лет назад.

Итак, идею, выдвинутую А.И. Опариным, коротко можно выразить следующим образом.

Жизнь на Земле прошла длительный путь эволюции химических веществ: из неорганических веществ образовались сложные органические вещества. Накопление их в течение миллиардов лет в океанах обеспечило возможность сложным молекулам концентрироваться в коацерваты, которые стали основой появления элементарных первичных организмов.

Не все еще понятно в самом моменте перехода от сложных органических веществ в коацерватной капле к живой клетке, но ясно, что эта эволюция продолжалась несколько миллионов лет. Экспериментально пока еще не воспроизведен момент, когда сложная молекулярная система становится «живой системой». Поэтому идеи, высказанные Опариным, Холдейном, Берналом и другими учеными, называют гипотезой, а не теорией, так как она еще требует своего доказательства.

1. Что собой представляет процесс коацервации?

2*. Могут ли в современных условиях где-то на Земле происходить процессы возникновения жизни?

3. Дополните высказывания.

- Жизнь возникла на Земле путем ... эволюции, а многообразие форм жизни — путем ... эволюции.
- Коацерватами А.И. Опарин назвал ... комплексы.
- Первые организмы возникли в «первичном бульоне», который содержал ... разных ... молекул.

§ 34 Значение фотосинтеза и биологического круговорота веществ в развитии жизни

С появлением механизма воспроизведения (размножения) процесс зарождения жизни завершился. Возникла острая проблема выживания среди других первичных организмов в условиях окружающей среды на Земле.

Как подчеркивают все исследователи, первые организмы были гетеротрофами, так как пищей им служили либо органические молекулы «первичного бульона», либо такие же первичные живые клетки. *Гетеротрофы* — это организмы, которые питаются готовыми органическими веществами и используют энергию, выделяющуюся при распаде этих органических веществ. Потребности в энергии для осуществления процессов жизнедеятельности и для создания потомства первые гетеротрофы, видимо, обеспечивали путем *брожения* — бескислородного процесса превращения органических веществ с помощью ферментов. Такой способ расщепления органических соединений в условиях, когда не было свободного кислорода в атмосфере Земли, очевидно, являлся основным способом получения энергии для жизнедеятельности организмов.

Брожение — древняя и энергетически малоэффективная форма извлечения энергии из органических веществ. Брожению могут подвергаться органические кислоты, аминокислоты, углеводы и многие другие органические соединения, но быстрее других брожению подвергаются сахара. Последовательно идущие друг за другом химические реакции брожения протекают непосредственно в цитоплазме. В этом процессе из химических связей, заключенных в органических молекулах, высвобождается энергия. Весь процесс идет при содействии ферментов, но без участия кислорода. Высвобождение энергии при брожении наблюдается и в наше время, например у многих бактерий, грибов, простейших и других организмов.

Считают, что со временем благодаря размножению произошло возрастание численности гетеротрофов. Органических веществ, накапливающихся в водах Мирового океана, не стало хватать для все увеличивающегося гетеротрофного населения. Кроме того, предполагают, что к этому времени ультрафиолетовая радиация Солнца произвела распад молекулы воды на водород и кислород и в атмосфере могло образоваться некоторое количество свободного кислорода. В результате уменьшилось синтезирование органических молекул и, следовательно, снизилось их поступление в Мировой океан. Это привело к сокращению пищевых ресурсов «первичного бульона».

Возникшая в связи с нехваткой питательных веществ конкуренция гетеротрофов обусловила появление среди них автотрофов. *Автотрофы* — это организмы, способные самостоятельно синтезировать органические вещества из неорганических с помощью солнечной энергии или энергии, образующейся в результате окисления неорганических соединений. Первыми фотосинтезирующими

организмами, вырабатывающими в ходе фотосинтеза кислород, были цианобактерии (или синезеленые водоросли), появившиеся около 3500 млн лет назад.

Полагают, что за миллионы лет становления организмов, еще на этапе коацерватных капель, когда их содержимое становилось все более сложным, случайные мутации нуклеиновых кислот могли дать отдельные более активные молекулы, способные использовать энергию света. Но пока питательные вещества были в избытке, это свойство не было востребовано первичными организмами. По мере сокращения количества органических молекул в окружающей среде свойство усваивать энергию света обеспечивало преимущество автотрофным организмам и их потомству.

У первых автотрофов не сразу сформировался сложный механизм фотосинтеза. Предполагается, что это происходило постепенно, путем накопления небольших изменений. Важным шагом на пути усложнения строения первых организмов было появление у них *хлорофилла* — пигмента, хорошо улавливающего свет. Хлорофилл поглощает энергию солнечного света с длиной волны в красной и синей частях спектра и отражает в зеленой части. Благодаря ему многие организмы приобрели зеленую окраску. Особенно это проявилось у возникших примерно 2000-2500 млн лет назад *эукариот*.

Появление у эукариот хлорофилла положило начало развитию особого мира организмов — мира *растений*. Растения как автотрофы способны поглощать энергию Солнца, на свету выделять кислород, потреблять углекислоту и создавать из неорганических веществ органические.

С появлением автотрофов начались необратимые изменения в условиях существования жизни на Земле. В результате колоссальной геохимической работы фотосинтезирующих организмов образовалось большое количество свободного кислорода в атмосфере (за счет расщепления воды при фотосинтезе), произошло накопление солнечной энергии в химических связях и вовлечение в живое вещество огромных масс углекислоты, поставляемой в те времена в атмосферу из недр Земли в процессе активной вулканической деятельности.

Появление автотрофных организмов на Земле внесло грандиозные изменения во все процессы существования нашей планеты.

По мере увеличения концентрации кислорода в атмосфере стала существенно меняться окружающая среда. Нарушились многие сложившиеся биохимические процессы. Это вызвало гибель живых существ, для которых свободный кислород оказался токсичным. Вместе с тем накопление газообразного кислорода в атмосфере обусловило возникновение у организмов процесса *дыхания*. Способность при дыхании синтезировать значительное количество высокоэнергетических молекул АТФ обеспечивала таким организмам более быстрый рост и размножение, а значит, давала возможность обитать в воздушной среде, что впоследствии и произошло.

Фотосинтез, обеспечив лучшую выживаемость автотрофам, вместе с этим вызвал появление и накопление газообразного кислорода в атмосфере Земли. Теперь те органические вещества, которые еще случайно могли образовываться в атмосфере, при взаимодействии с кислородом окислялись и распадались. Кроме того, кислород под влиянием ультрафиолетовых лучей превращался в озон. С образованием вокруг Земли озонового слоя, задерживающего ультрафиолетовые лучи, фактически прекратилось создание новых органических молекул в атмосфере. Но одновременно защитный озоновый слой стал одним из условий для выхода живых организмов из воды на сушу.

Появление автотрофов не только расширило энергетические ресурсы для жизнедеятельности разнообразных организмов, но и включило в обменные процессы большое количество новых неорганических веществ. При этом сами автотрофы оказались разнообразной и высокоэнергетической пищей для гетеротрофов.

Взаимодействие автотрофов и гетеротрофов, их непрерывное рождение и гибель привели к появлению на Земле нового мощного планетарного процесса — *биологического круговорота веществ*. Образование органических веществ одними существами и поедание их другими приводило к тому, что эти вещества как могучий поток стали перемещаться из внешней среды к живым организмам, откуда они видоизменяясь, снова возвращались в окружающую среду. И так круг за кругом, бесконечно.

Путем взаимосвязи жизни и смерти, путем химических процессов биосинтеза и распада органических соединений организмы вовлекали в биологический круговорот веществ все химические элементы Земли.

Уже на ранних этапах развития живые организмы способствовали сокращению в атмосфере исходных запасов аммиака, водорода, метана, сероводорода. Бактерии и водоросли в древнейших водных бассейнах «связывали» огромные массы железа, марганца, серы, азотных соединений, образовывали «осадочные» железные, марганцевые, серные руды и свободный азот. Бактерии, водоросли и простейшие (например, фораминиферы), погибая, создавали на дне водоемов многометровые отложения извести. Залежи фосфатов, гипса, железисто-кремнистые и многие другие породы — тоже продукты жизнедеятельности древних организмов, особенно бактерий.

Как видим, появившиеся на Земле организмы существенно меняли ее свойства. В итоге некогда безжизненная планета обрела населенную живыми существами оболочку — *биосферу*. Биосфера включает все организмы планеты и элементы неживой природы, составляющие среду их обитания. Благодаря взаимодействию живых и неживых компонентов биосферы осуществляется биологический круговорот веществ в природе.

Изучение истории Земли и развития жизни приводит к выводу, что жизнь — это важнейший геологический фактор, который с момента появления производил и производит коренные изменения в составе геологических образований и окружающей среды, а это, в свою очередь, вызывает изменения и в самой жизни, и в свойствах всей биосферы.

1. Какие факторы обусловили появление на Земле автотрофов?
2. Объясните роль гетеротрофов и автотрофов в биологическом круговороте веществ.
- 3*. Раскройте сущность и значение круговорота веществ в биосфере.

§ 35 Этапы развития жизни на Земле

Первые живые существа появились на Земле примерно 3500-3900 млн лет назад. Их формирование и развитие происходило в водной среде, которая по насыщенности органическими и неорганическими веществами была подобна бульону.

Первые живые организмы были одноклеточными, по строению похожими на ныне живущих бактерий. Они основали особую группу организмов — прокариот. Позднее возникли более сложные одноклеточные формы, давшие начало группе эукариот. Это были водоросли, простейшие и грибы. Эукариоты дали начало многоклеточным организмам, которые в процессе эволюции произвели огромное разнообразие форм растений, грибов, животных, обитающих не только в воде, но и на суше.

Историю Земли и развитие жизни на ней обычно подразделяют на следующие друг за другом этапы — *эры*. В эрах выделяют *периоды*, а в периодах — *эпохи*. Это

все очень длительные промежутки времени в истории нашей планеты, обычно выражаемые в миллионах лет.

Обозначение и определение продолжительности исторических этапов проводится на основе изучения ископаемых остатков, а также с опорой на данные геологии, биогеографии, систематики и другие свидетельства о крупных изменениях в лике Земли (соотношение моря и суши, интенсивность горообразования, наступление материковых оледенений и другие глобальные климатические процессы, содержание продуктов радиоактивного распада в минералах горных пород).

В истории Земли выделяют 6 эр: *катархей* (ниже древнейшего) — начался около 4500 млн лет назад; *архей* (древнейший) — начался примерно 3500 млн лет назад; *протерозой* (первичная жизнь) — начался 2500 млн лет назад; *палеозой* (древняя жизнь) — начало относят к 534 млн лет назад; *мезозой* (средняя жизнь) — начался около 248 млн лет назад; *кайнозой* (новая жизнь) — начался более 65 млн лет назад и продолжается сейчас.

История Земли насчитывает 4000-5000 млн лет. Примерно 3000-4000 млн лет шло формирование самой планеты, а возникновение организмов заняло период около 1000 млн лет. Это событие произошло на границе между катархеем и археем. До середины палеозоя жизнь развивалась только в воде.

Первыми на сушу вышли прокариоты (бактерии и цианобактерии). Как полагают ученые, это произошло еще в архее. С выходом на сушу прокариот начался процесс образования почвы. Спустя много времени на сушу вышли эукариоты — растения и животные. Первые растения поселились на влажных берегах пресных водоемов. Это были теперь уже давно вымершие *риниофиты*, произошедшие от зеленых многоклеточных водорослей. Данное событие случилось, по-видимому, около 400 млн лет назад. Примерно в то же время на сушу вышли и первые животные — *ракоскорпионы* из паукообразных. С тех пор эволюция живого мира шла не только в водной, но и в наземно-воздушной среде.

Выход организмов на сушу обусловил появление у них в процессе эволюции разнообразных приспособительных свойств к жизни в наземно-воздушной среде.

В условиях сухости наземно-воздушной среды у организмов возникли плотные покровы, сохраняющие влагу тела. Для газообмена стали использоваться внутренние поверхности, образовались специальные ткани и органы, осуществляющие дыхание и предотвращающие потерю воды. В связи с низкой плотностью воздушной среды у животных возникли панцири и скелеты, а у растений — механические ткани во всех органах тела. У животных в связи с передвижением в поисках пищи и укрытий сформировались конечности, помогающие бегать, плавать, копать, прыгать, летать и т. д. Растения, ведущие прикрепленный образ жизни, приобрели способность постоянно наращивать свои побеги и корни и тем менять места добывания питательных веществ.

На суше организмы сталкивались с обилием света, его суточными и сезонными ритмами яркости и продолжительности. Это обусловило появление у организмов ночного или дневного образа жизни. При этом у многих видов выработались совместные, приуроченные друг к другу ритмы развития. Для лучшего улавливания света у растений развились листья и ветвление побегов.

Выход растений и животных на сушу в истории Земли произошел сравнительно недавно. Но к этому времени в морских водах и в пресных водоемах жизнь уже достигла достаточно высокого уровня развития. За многие миллионы лет путем длительной эволюции появились разнообразные бактерии, животные, растения и грибы. Значительная часть их вымерла, но многие группы древних организмов или производные от них существуют и в наше время. Например, среди эукариот это водоросли (зеленые, золотистые, бурые, красные и др.), а также амёбы, жгутиконосцы, губки, медузы, кораллы, моллюски, иглокожие, хрящевые рыбы

(акулы, скаты), латимерия (кистеперая рыба), кольчатые черви, членистоногие и многие другие животные.

Представим кратко эволюцию жизни по эрам.

Катархеи (от 4500 до 3500 млн лет назад) — образование «первичного бульона» в водах Мирового океана, процесс коацервации.

Архей (от 3500 до 2500 млн лет назад) — эра прокариот: бактерий и цианобактерий. Осадочные породы подтверждают их наличие в этой эре. Цианобактерии свидетельствуют о фотосинтезе и присутствии активного пигмента хлорофилла. В архее появляются первые эукариоты — одноклеточные водоросли (зеленые, желтозеленые, золотистые и др.) и простейшие. Среди них — жгутиковые эукариоты (эвгленовые, вольвоксовые), саркодовые (амебы, фораминиферы, радиолярии) и др. Начался процесс почвообразования. На границе между архейской и протерозойской эрами появились половой процесс и многоклеточность.

Протерозой (от 2500 до 534 млн лет назад) — огромная по продолжительности эра. Расцвет эукариотных организмов, по своему разнообразию намного опережающих прокариот. Появление многоклеточности и дыхания обусловило прогрессивное развитие гетеротрофов и автотрофов. Наряду с плавающими формами (водоросли, простейшие, медузы) появляются прикрепленные (сидячие) ко дну или какому-либо субстрату нитчатые зеленые, пластинчатые бурые и красные водоросли, губки, кораллы, а также ползающие организмы, например кольчатые черви. Последние дали начало моллюскам и членистоногим. Появляются симбиотические и паразитические формы организмов.

Палеозой (от 534 до 248 млн лет назад) — эра, которая характеризуется достаточно большими находками ископаемых организмов. Они свидетельствуют, что в этот период в водной среде (соленых и пресных водоемов) обитали представители почти всех основных типов беспозвоночных животных. Появились позвоночные (кроме птиц и млекопитающих). В пресных водах появились акулы и потомки костистых рыб — двоякодышащие и кистеперые рыбы (от последних произошли наземные позвоночные).

В середине эры растения, животные и грибы вышли на сушу. Началось бурное развитие высших растений. Появились мохообразные. Образовались первые леса из гигантских папоротникообразных растений, но в конце палеозоя они вымерли, образовав залежи каменного угля. Появились животные, дышащие воздухом. По всей Земле распространились рептилии (растительноядные и хищные), появились насекомые.

Мезозой (от 248 до 65 млн лет назад) часто называют эпохой рептилий. Они представлены разнообразными формами: плавающие, летающие, сухопутные, водные и околотовные. Достигнув большого расцвета, рептилии почти все вымерли в конце мезозоя. Появились птицы и млекопитающие (яйцекладущие и сумчатые). Широко распространились голосеменные растения, особенно хвойные. Появились покрытосеменные растения, но представленные только древесными формами. В морях господствовали костистые рыбы и головоногие моллюски.

Кайнозой (от 65 млн лет назад и до настоящего времени) — расцвет покрытосеменных растений, насекомых, птиц, млекопитающих и появление человека. Уже в середине кайнозоя имелись почти все основные группы представителей всех царств живой природы. У покрытосеменных растений образовались такие жизненные

формы, как травы и кустарники. Появились степи, луга. Сформировались все основные типы природных биогеоценозов. С появлением человека и развитием общества создаются культурные флора и фауна, образуются агроценозы, села и города. Природа стала активно использоваться человеком для удовлетворения его потребностей. Различное воздействие человека на природу произвело в ней существенные изменения. Произошли большие изменения в видовом составе органического мира, в окружающей среде и природе в целом.

История Земли характеризуется уникальным явлением: на основе химической эволюции в природе возникла живая материя, которая затем с помощью биологической эволюции достигла высокого уровня развития. В этом историческом процессе развития жизни на Земле создалось огромное разнообразие биологических видов и различных биосистем, произошел человек и сформировалась биосфера с глобальным биологическим круговоротом веществ. Эти события происходили на протяжении длительного времени в меняющихся условиях окружающей среды на планете. Процессы развития жизни продолжают и в наше время.

1. Можно ли эры назвать этапами развития жизни на Земле?

2*. Какое явление живого мира обусловило возникновение новых, все более сложных форм организмов?

3. Попробуйте объяснить, почему прокариоты, раньше других вышедшие на сушу, не дали такого большого разнообразия живых форм, как эукариоты.

Краткое содержание главы

Проблема возникновения и разнообразия жизни на Земле с давних пор привлекает внимание философов и натуралистов. До середины XIX в. считали возможным самопроизвольное зарождение организмов из неживых предметов (теории абиогенеза). Опыты Пастера доказали ошибочность и наивность этих суждений. При обсуждении проблемы о возникновении жизни на Земле были выдвинуты разные теории биогенеза.

Согласно современным научным представлениям, жизнь на Земле зародилась из неживой материи в процессе формирования и развития самой планеты. Впервые эту гипотезу высказал в 1924 г. отечественный ученый А.И. Опарин. Он сформулировал ее как теорию эволюции живой материи. В настоящее время считают, что жизнь зародилась в результате химической эволюции (абиогенно), а ее развитие до современного состояния разнообразия и сложности произошло путем биологической эволюции (биогенно).

Условия, при которых произошло появление первых живых организмов на Земле, резко отличались от современных. В атмосфере первобытной Земли не было кислорода, но были газообразные вещества, из которых могли путем многочисленных химических преобразований возникнуть органические молекулы. Они объединялись в полимеры, а затем и в агрегаты (совокупности), названные коацерватами. Последние и послужили основой появления живых клеток. Медленно, на протяжении чрезвычайно длительного времени (около одного миллиарда лет) шел этот процесс. Эволюция химических веществ в окружающей среде и преобразование их в коацерватах привели к созданию соединений, способных координировать в

первичных клетках ход химических реакций, без которых невозможны процессы жизнедеятельности (обмен веществ, рост, воспроизведение себе подобных).

На первых этапах развития жизни ключевыми событиями стали естественный отбор; появление автотрофности (и хлорофилла); накопление кислорода в атмосфере и создание озонового слоя; появление в клетке оформленного ядра с ДНК (эукариоты); возникновение полового размножения; появление многоклеточности у организмов; выход живых существ на сушу.

Проверьте себя

1. В чем преимущества многоклеточных организмов в сравнении с одноклеточными?
2. В каких условиях произошло возникновение жизни на Земле?
3. Какие условия внешней среды стали причиной выхода организмов на сушу?
4. Какова роль кислорода в эволюции жизни?

Проблемы для обсуждения

1. Как можно объяснить господство в палеозое древних папоротникообразных и их полное исчезновение в той же эре?
2. В чем сходство и различия идей абиогенеза у древних мыслителей (Аристотель, Парацельс) и современных ученых (А.И. Опарин, Дж. Холдейн)?
3. Среди определений жизни есть такое: «Жизнь — это способ существования белковых тел (живой материи) в пространстве и во времени». Выскажите свое отношение к этому утверждению. Попробуйте дать свое определение жизни.

Основные понятия

Абиогенез. Биогенез. Химическая эволюция. Биологическая эволюция. Коацерваты. Эры.

Глава 7

Учение об эволюции

Изучив главу, вы сумеете:

- раскрыть суть эволюции, ее причины и движущие силы;
- охарактеризовать основные положения теории Ч. Дарвина в сравнении с идеями его предшественников;
- доказать роль вида и популяции в эволюционном процессе;
- объяснить происхождение видов исходя из современного учения об эволюции;
- изложить основные закономерности биологической эволюции.

§ 36 Идея развития органического мира в биологии

Живой мир Земли огромен. Он представлен уникальным разнообразием живых существ: в нем более 2 млн видов эукариот (более 500 тыс. видов растений, около 1,5 млн видов животных) и примерно столько же видов прокариот. При этом разнообразии форм жизни все организмы состоят из одних и тех же химических элементов и органических соединений. Все сходным образом осуществляют биосинтез и обмен веществ с окружающей средой, используют похожим образом энергию в процессах жизнедеятельности, способны одинаково размножаться и при половом размножении начинают развитие организма из одной клетки — зиготы.

Как же объяснить многообразие видов при таком сходстве свойств у живых организмов? Каким образом возникли сложные организмы? Под действием каких сил сформировались у них приспособительные свойства? Ответы на эти вопросы дает *эволюционное учение* (лат. *evolutio* — «развертывание»).

Эволюционное учение — это наука о причинах, движущих силах и общих закономерностях исторического развития живой природы.

Основоположником эволюционного учения является английский естествоиспытатель Ч. Дарвин. Современное учение об эволюции опирается на эволюционную теорию, сформулированную Ч. Дарвином в середине XIX в. и опубликованную в книге «Происхождение видов» в 1859 г. Однако задолго до этого выдвигались различные гипотезы и теории о развитии органического мира, поскольку эволюция жизни на Земле принадлежит к числу величайших проблем естествознания, с давних времен привлекающих внимание натуралистов и философов.

Например, древнегреческий философ-материалист и диалектик Гераклит (ок. 530 — ок. 470 до н. э.), уроженец Эфеса в Малой Азии, в сочинении «О природе» пишет: «Жизнь природы — непрерывный процесс движения. В нем всякая вещь и всякое свойство переходят в свою противоположность. В борьбе противоположностей обнаруживается, однако, их тождество. Все, непрерывно изменяясь, обновляется, потому нельзя дважды вступить в одну и ту же реку: на входящего во второй раз текут уже новые воды». Другой знаменитый древнегреческий ученый — Аристотель (IV в. до н. э.), признавая материальную основу мира, а также сравнивая между собой различные виды организмов, пришел к выводу, что в природе имеются простые и сложные тела. Для их характеристики ученый ввел понятие лестницы природы. На ее нижних ступенях он расположил простые тела, а на верхних — более сложные. В основании лестницы Аристотель поместил тела неживой природы, выше них — растения, затем — прикрепленных к грунту животных (губки и асцидии), после них — свободноживущих, подвижных морских животных, а наверху — животных суши. Однако в представлениях этого мыслителя отсутствовала идея о развитии организмов

от низших к высшим, а просто фиксировался факт их неодинаковости. Более того, он считал, что виды неизменяемы. Авторитет высказываний Аристотеля на многие годы (на века!) определил взгляды натуралистов на природу. Лишь в эпоху Возрождения, т. е. в XVII-XVIII вв., выдвигаются идеи об изменяемости видов, об эволюции, но и они еще долго находились под влиянием учения Аристотеля о природе.

В XVII в. в Англии Дж. Рей создал первую концепцию рода и вида; разделил растения на совершенные (цветковые) и несовершенные (водоросли и др.). В XVIII в. в Швеции К. Линней помимо новой концепции вида классифицирует живые организмы в особой системе. Во Франции Ж.Л. Бюффон в многотомном труде «Естественная история» выдвигает предположение об изменяемости видов, о естественном родстве организмов и о единстве животного и растительного мира. В России П.С. Паллас высказывает мысль о происхождении организмов некоторых видов от общих предков. Английский врач, натуралист и поэт Э. Дарвин, дед Ч. Дарвина, излагает натурфилософские идеи об изменяемости видов, об экономии в природе и эволюции организмов. В Швейцарии эмбриолог Ш. Бонне в 1762 г. в работе о разномножении ряда беспозвоночных животных впервые вводит в биологию понятие «эволюция». В XIX в. во Франции Ж. Кювье на основе сравнительной анатомии животных и палеонтологии выдвинул гипотезу катастроф. Исходя из нее он объяснял стихийными бедствиями в различные периоды истории Земли смену фаун и появление новых видов. Английский геолог Ч. Лайель в противовес теории катастроф Кювье создает учение об эволюции поверхностных слоев Земли. Лайель высказал новую идею о медленном и непрерывном изменении земной поверхности под влиянием постоянных геологических факторов (разница температур, вода, вулканические силы, живые существа и др.) и убедительно доказывал эту гипотезу прогрессивными изменениями у ископаемых остатков. Ч. Дарвин был увлечен трудами Лайеля.

Подобные высказывания многих натуралистов способствовали утверждению идеи об эволюции органического мира, но каких-либо специальных трудов, обосновывающих эту идею, еще не было.

Первым, кто специально обратился к исследованию эволюции живых организмов, был французский естествоиспытатель Ж.Б. Ламарк.

Свою эволюционную теорию Ламарк изложил в 1809 г. в труде «Философия зоологии», объясняя возможные пути развития животных и растений. Главными в его теории были следующие положения: изменения в окружающей среде ведут к изменению видов животных и растений; необходимость в изменении и образовании новых приспособительных свойств обусловлена внутренним стремлением самих организмов к прогрессу, особенно у высших животных.

Предположения об эволюции Ламарк обобщил в виде двух «законов» — «законе упражнения и неупражнения» и «законе наследования приобретенных признаков». Он считал, что факторы среды прямо действуют на организмы и создают нужные формы по мере усиливающегося использования какой-то части тела (т. е. упражнения ее). Неупражняемые части тела постепенно со временем слабеют и могут исчезнуть вовсе. Признаки, появившиеся благодаря упражнению, закрепляются, а при неиспользовании исчезают. Эти приобретенные признаки, утверждал Ламарк, передаются потомкам, наследуются. Основываясь на этих «законах», Ламарк объяснял возможные пути эволюции. Он полагал, что новый вид развивается в процессе смены многих поколений как результат приобретения новых признаков или утраты бывших неупражняемых признаков.

Ламарк доказывал действие своих «законов» примерами: предки змей имели конечности, но не использовали их, они им даже мешали ползать, поэтому конечности исчезли со временем, в ряду большого числа поколений. Также из-за «ненужности» произошла редукция глаз у крота; у цапли развились длинные ноги потому, что ей надо держать тело высоко над водой. Необходимостью доставать сочную листву деревьев в засушливых местах, где нет травы, Ламарк объяснял наличие длинной шеи и ног у жирафа.

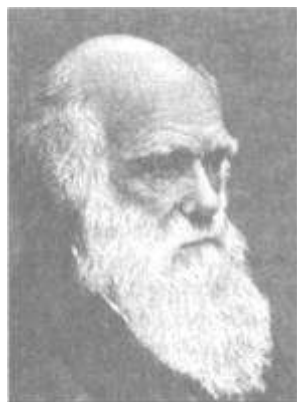
Обоснование роли окружающей среды в изменяемости свойств организмов, доказательство постепенности повышения уровня организации живых существ от простейших до человека и значения в этом процессе длительности времени —

сильные стороны теории Ламарка. Однако его взгляды на механизм изменчивости организмов и образование новых видов были ошибочными. Его теория, получившая затем название *ламаркизма*, являлась умозрительной, т. е. основанной на ряде не подтвержденных экспериментально постулатов. Объяснение прогрессивной и приспособительной эволюции стремлением самих организмов к усовершенствованию своих изначальных признаков было односторонним и *телеологичным* (от греч. *teleos*— «цель» и *logos*— «учение»). «Осознание» цели своего развития приписывалось самой природе как присущее ей внутренне свойство. Потому теория Ламарка не смогла противостоять господствующему тогда *креационизму* (лат. *creatio*— «сотворение»), согласно которому происхождение и многообразие живого мира объяснялось божественной волей, что отрицало наличие эволюции в природе.

1. Что означает термин «эволюция»?

2*. Почему в биологии считают ценной теорию Ж.Б. Ламарка о развитии организмов, хотя она не объяснила сути и механизма эволюции? 3. Какие «законы» сформулировал Ламарк?

§ 37 Основные положения теории Чарлза Дарвина об эволюции органического мира



Чарлз Роберт
Дарвин (1809–1882)

В 1859 г. Ч. Дарвин публикует труд «Происхождение видов путем естественного отбора или сохранения благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь», в котором он изложил результаты своих многолетних (более 20 лет) специальных исследований доказательства эволюции.

Для объяснения процесса эволюции в органическом мире Дарвин исследует четыре основных взаимосвязанных фактора (свойств живого): *изменчивость, наследственность, борьбу за существование и естественный отбор*. Их он считал *движущими силами эволюции*.

Сравнивая между собой двух или несколько особей одного вида, легко обнаружить, что у них всегда имеются какие-то отличия друг от друга — в окраске или размерах, повадках, плодовитости и других признаках.

На основании таких различий у отдельных особей вида Дарвин констатирует, что организмам каждого вида свойственна *изменчивость*. Поскольку некоторые признаки, появляющиеся у потомства, наблюдались и у их родителей, то Дарвин делает вывод, что особи получили эти признаки от родителей благодаря *наследственности*. Изменения, которые могут передаваться по наследству, обнаруживаются у каждого вида, особенно если размножение идет половым путем. Дарвин предположил, что некоторые изменения (вариации) в наследственности помогают особям выжить в определенных условиях окружающей среды, тогда как другие наследственные свойства этому не способствуют.

Основываясь на большом количестве примеров, Дарвин также отмечает, что каждая пара организмов может дать значительное число потомков (животные откладывают много яиц, икринок, у растений созревает множество семян, спор), но выживает лишь их незначительная часть. Большинство особей гибнет, не достигнув не только половозрелости, но и зрелого возраста. Причины гибели — неблагоприятные условия внешней среды: нехватка пищи, враги, болезни или зной, засуха, мороз и др. На этом основании Дарвин приходит к выводу, что в природе между организмами происходит непрерывная **борьба за существование** (рис. 46). Она ведется как между особями разных видов (*межвидовая борьба за существование*), так и между особями одного и того же вида (*внутривидовая борьба за существование*). Еще одним проявлением борьбы за существование выступает *борьба с неживой природой*.

В итоге борьбы за существование некоторые вариации признаков у одной особи дают ей преимущество выживания по сравнению с другими особями этого же вида, обладающими иными вариациями наследуемых признаков. Часть особей с неблагоприятными вариациями погибает. Этот процесс Ч. Дарвин назвал **естественным отбором**. Наследуемые признаки, повышающие вероятность выживания и размножения данного организма, передаваясь от родителей к потомкам, будут встречаться в последующих поколениях все чаще и чаще (поскольку существует геометрическая прогрессия размножения). В результате в течение некоторого периода времени таких особей с новыми признаками становится много и они оказываются настолько непохожими на организмы первоначального вида, что уже представляют собой особей нового вида. Дарвин утверждал, что естественный отбор — общий путь образования новых видов.

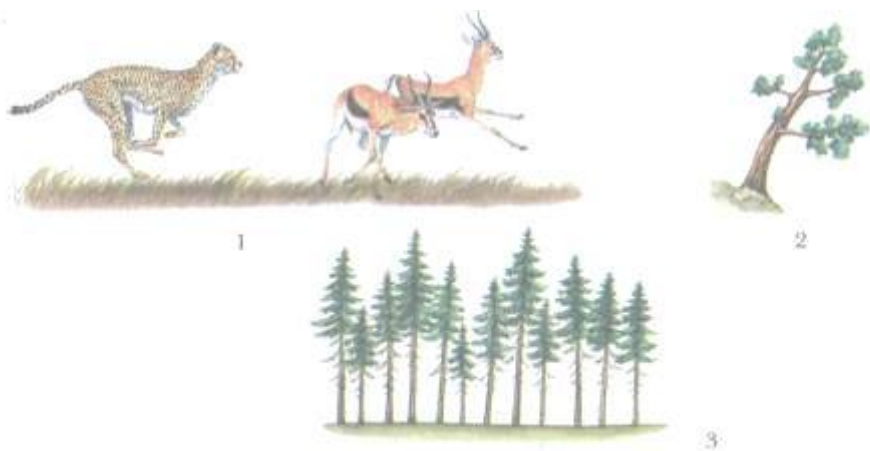


Рис. 46. Борьба за существование: 1 — межвидовая борьба (гепард догоняет антилопу); 2 — борьба с неживой природой (форма кроны дерева, произрастающего в местах, обдуваемых сильным ветром); 3 — внутривидовая борьба (одновозрастные ели в загущенном произрастании)

Дарвин выдвигает важную новую гипотезу о наличии в природе естественного отбора, который осуществляется влияниями внешних условий среди большого количества особей вида, обладающих различными вариациями наследуемых признаков.

«Естественный отбор, — пишет Ч. Дарвин, — действует исключительно путем сохранения и накопления изменений, благоприятных при тех органических и неорганических условиях, которым каждое существо подвергается во все периоды своей жизни. С точки зрения нашей теории, продолжительное существование наших организмов не представляет никакого затруднения, так как естественный отбор, или переживание наиболее приспособленного, не предполагает необходимо прогрессивного развития, — он только подхватывает проявляющиеся изменения, благоприятные для обладающего ими существа в сложных условиях его жизни. Естественный отбор — этого никогда не следует забывать — действует только на пользу данного существа и через посредство этой пользы... Естественный отбор ведет к расхождению признаков и значительному истреблению менее усовершенствованных и промежуточных форм жизни».

Опираясь на идею о естественном отборе, Ч. Дарвин определил пути эволюционных преобразований.

Главным моментом в эволюционном процессе он считал *расхождение признаков*, или *дивергенцию* (лат. *divergo* — «отклоняюсь», «отхожу»). Расхождение признаков ведет к уменьшению конкуренции, ибо организмы благодаря новым свойствам получали возможность использовать различные условия существования. По такому пути с помощью дивергенции из ранее существовавших видов образуются новые виды, соответствующие новым условиям среды обитания.

Естественный отбор Дарвин считал главной движущей силой эволюции. Результатом действия этой силы являются такие феномены: 1) постепенное усложнение и повышение уровня организации живых существ; 2) приспособленность организмов к условиям окружающей среды; 3) многообразие видов.

С помощью естественного отбора, по Дарвину, в природе формируются новые виды из уже существующих видов.

К выводам о роли естественного отбора Дарвин пришел после тщательного изучения истории возникновения новых пород животных и сортов культурных растений. В условиях одомашнивания отбор выполняет человек. Из многообразия вариантов, определяемых изменчивостью, человек отбирает ту форму, которая больше всего соответствует его интересам. Такое целенаправленное создание новых видов Дарвин назвал **искусственным отбором** (рис. 47). Исследование механизма и результатов искусственного отбора оказалось для Дарвина важным этапом на пути



Рис. 47. Дикий предок капусты *Brassica oleracea* (1) и ее культурные формы: 2 — брюссельская; 3 — краснокочанная; 4 — декоративная

обоснования теории естественного отбора и его действия в природе без участия человека.

Учение Дарвина об эволюции органического мира объясняет приспособленность (адаптацию) организмов к окружающей среде и рассматривает многообразие видов как неизбежный результат действия естественного отбора в связи с расхождением наследуемых признаков. Адаптации (лат. *adaptatio* — «прилаживание», «приспособление») — это совокупность морфолого-физиологических, поведенческих, популяционных и других приспособительных особенностей вида, обеспечивающих ему возможность существовать в определенных условиях внешней среды. Адаптации придают строению и жизнедеятельности организмов черты функциональной целесообразности, возникшей под влиянием естественного отбора. Дарвин подчеркивал, что любое приспособительное свойство имеет относительный характер, поскольку полезно организму только в его конкретной, привычной среде обитания. Однако и в привычной среде всегда возможны другие, более совершенные адаптации организмов к внешним условиям.

Ч. Дарвин открыл движущие силы эволюции, к которым он относил наследственность, изменчивость, борьбу за существование и естественный отбор. При этом он отмечал также большую роль способности организмов размножаться по типу геометрической прогрессии. Впервые в науке Дарвин подчеркнул роль видов в эволюции и доказал, что современные виды (в природе и одомашнивании) произошли от ранее существовавших видов.

Создав научную теорию эволюции, Дарвин всесторонне обосновал исторический метод в исследовании природы. Теория происхождения видов в корне изменила представления об эволюции органического мира и стала крупнейшим научным достижением, значимым событием в XIX в. Фундаментальность теории Дарвина заставила представителей всех биологических наук соотносить свои идеи с ее положениями. На учении Дарвина базируется и современное общее понимание эволюции.

1. Какие выводы являются главными в эволюционной теории Ч. Дарвина?

2*. Раскройте механизм действия естественного отбора. 3*. Докажите свое мнение.

- Почему учение Дарвина оказалось более убедительным, чем учение Ж.Б. Ламарка?

- Какой смысл вкладывал Ч. Дарвин в понятие «борьба за существование»?

§ 38 Современные представления об эволюции органического мира

Современное эволюционное учение часто называют *синтетическим*. Это потому, что оно включает в себя не только *дарвинизм* (т. е. идеи Ч. Дарвина об отборе и борьбе за существование), но и открытия генетики, систематики, морфологии, биохимии, физиологии, экологии и других наук.

Особенно продуктивными для развития учения об эволюции оказались данные генетики и молекулярной биологии. Хромосомная теория и теория гена раскрыли причины мутаций и механизмы передачи наследственности, а молекулярная

биология и молекулярная генетика выяснили способы хранения, реализации и передачи генетической информации с помощью ДНК. Было установлено, что *элементарной единицей эволюции*, способной реагировать на изменения среды перестройкой своего генофонда, является **популяция**. Согласно этому открытию не вид, а его популяции насыщены мутациями, которые служат основным материалом эволюционного процесса, идущего под действием естественного отбора.

Современное учение об эволюции основано на популяционной концепции.

Популяция (лат. *populus*— «народ», «население») — это структурная единица вида. Она представлена совокупностью особей вида, обладающих общим генофондом и занимающих определенную территорию в пределах ареала (области распространения) этого вида. Популяции подвергаются действию разных направлений естественного отбора, так как территориальная изоляция препятствует частому обмену генетической информацией между обособленными популяциями (рис. 48). Поэтому постепенно между такими популяциями происходит *дивергенция* (*расхождение*) по ряду генетических признаков. Они накапливаются путем мутаций. Причем особи популяций приобретают заметные отличия от исходного, родительского вида. Если появившиеся отличия обеспечивают нескрещиваемость особей одной популяции с особями других популяций исходного вида, то обособившаяся популяция становится самостоятельным новым видом, вычленившимся путем дивергенции из исходного вида.

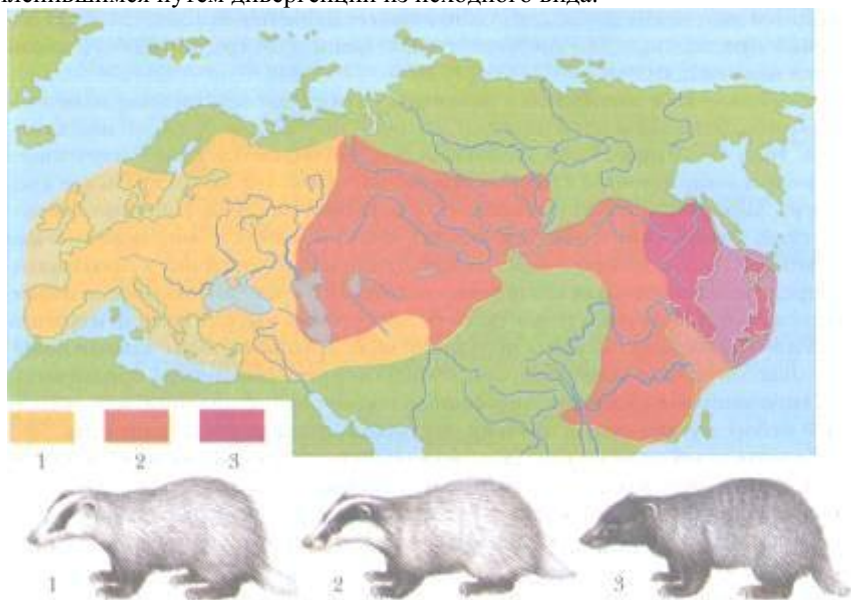


Рис. 48. Территории, занимаемые представителями трех разных популяций барсuka (*Meles meles*)

Популяция — наименьшее подразделение вида, меняющееся во времени.

Поэтому популяцию называют элементарной единицей эволюции.

В современном эволюционном учении различают такие понятия, как элементарная единица эволюции, элементарные явления эволюции, элементарный материал эволюции и элементарные факторы эволюции.

Для каждой популяции характерны следующие свойства: ареал, численность и плотность особей, генетическая гетерогенность (разновидность) особей, возрастная и половая структура, особое функционирование в природе (внутрипопуляционные, межпопуляционные контакты и отношения с другими видами и с внешней средой). Половые контакты между особями внутри одной популяции осуществляются значительно проще и чаще, чем с особями разных популяций того же вида. Поэтому изменения, накапливающиеся в одной популяции с помощью рекомбинаций, мутаций и естественного отбора, обуславливают ее качественное и репродуктивное обособление (дивергенцию) от других популяций. Эти изменения, происходящие в популяциях, называют *элементарными явлениями эволюции*. Изменения отдельных особей не приводят к эволюционным изменениям, так как нужно значительное накопление сходных наследуемых признаков, а это доступно только целостной группе особей, какой является популяция.

Элементарным материалом эволюции служит наследственная изменчивость (комбинативная и мутационная) у особей популяции. Хорошо известно, что оба типа генотипической изменчивости наблюдаются у всех изученных прокариот и эукариот. Оба эти типа изменчивости могут затрагивать все способные варьировать признаки и свойства организмов (морфологические, физиологические, химические и поведенческие), что приводит к возникновению как качественных, так и количественных фенотипических отличий в популяции. При определенных условиях и в течение некоторого времени возникшие новые наследуемые признаки могут достигнуть достаточно высоких концентраций у одной или нескольких смежных популяций вида. Группы особей с такими новыми признаками можно обнаружить на «своей» территории внутри ареала вида.

Элементарные факторы эволюции включают такие явления, как естественный отбор, мутационный процесс, популяционные волны и изоляция.

Естественный отбор устраняет из популяции особи с неудачными комбинациями генов и сохраняет особи с генотипами, которые не нарушают процесса приспособительного формообразования. Естественный отбор направляет эволюцию.

Мутационный процесс поддерживает генетическую неоднородность природных популяций.



Рис. 49. Популяции малоподвижных организмов могут быть изолированы друг от друга пространством даже в несколько метров

Популяционные волны поставляют массовый элементарный эволюционный материал для естественного отбора. Каждой популяции свойственно определенное колебание численности особей в сторону то увеличения, то уменьшения. Эти колебания в 1905 г. отечественный ученый-генетик С.С. Четвериков назвал *волнами жизни*.

Изоляция обеспечивает барьеры, исключая свободное скрещивание организмов. Она может выражаться в территориально-механической (пространственной, географической) или

биологической (поведенческой, физиологической, экологической, химической и генетической) несовместимости (рис. 49).

Нарушая скрещивание, изоляция расчленяет исходную популяцию на две или более, отличающиеся друг от друга, и закрепляет различия в их генотипах. Разделенные части популяции уже самостоятельно подвергаются действию естественного отбора.

Изоляция, мутационный процесс и популяционные волны, являясь факторами эволюции, влияют на эволюцию вида, но не направляют ее. Направленность эволюции задается естественным отбором.

1. Замените выделенные слова утверждения термином.

- *Наименьшее подразделение вида, меняющееся во времени, участвует в образовании новых видов.*
- *Расхождение признаков организмов* Ч. Дарвин использовал для объяснения разнообразия форм в эволюции организмов.

2*. В чем отличие современного учения об эволюции от эволюционной теории Дарвина? 3. Подумайте.

- Почему популяцию называют структурной единицей эволюции?
- Каким образом естественный отбор направляет ход эволюции?

§ 39 Вид, его критерии и структура

Вид — одно из основных и сложнейших понятий в биологии. Это понятие позволяет не только систематизировать огромное разнообразие живых организмов на Земле, но и решить вопрос о путях, причинах, а также механизмах видообразования и эволюции живой природы.

Вид — реально существующая генетически неделимая единица живого мира.

Понятие о виде лежит в основе эволюционной теории Ч. Дарвина. Каждый вид обладает характерным для него жизненным циклом, в рамках которого происходят определенные процессы роста и развития тел особей, изменения в проявлениях взаимоотношений организмов со средой и чередование способов их воспроизводства.

Вид состоит из популяций. Общность генов, унаследованных от предков и характеризующих данный вид, поддерживается между популяциями с помощью особей. Изменения в популяциях приводят к изменению вида.

Вид — основная структурная единица в системе организмов, качественный этап эволюции жизни.

В начале 60-х гг. XX в. американский ученый-эволюционист Э. Майр предложил «биологическую концепцию» вида, выдвинув такие идеи: виды характеризуются не различием, а обособленностью; виды состоят не из особей, а из популяций; главной особенностью вида является его репродуктивная изолированность от других. Взгляды Майра укрепили понятие о виде как о многообразной политипической системе, состоящей из различных внутривидовых структурных подразделений — популяций. Идея политипического вида в настоящее время признана всеми учеными-эволюционистами в разных странах, а учение об эволюции раскрывается на основе популяционной концепции.

Строгого определения понятия «вид» в биологии пока еще не создано. Чаще всего вид рассматривается как совокупность отдельных групп сходных особей — популяций. Благодаря различным популяциям вид полнее использует многообразие среды на территории своего ареала и потому оказывается лучше приспособленным к условиям обитания. При этом вид выступает как целостное и самостоятельное природное образование, характеризующееся своей историей становления, особой эволюционной «судьбой».

Для характеристики вида используют пять основных критериев (признаков): морфологический, физиолого-биохимический, экологический, географический и репродуктивный.

Морфологический критерий позволяет различать разные виды по внешним и внутренним признакам. Например, род смородина содержит несколько хорошо различающихся между собой по внешнему облику видов смородины: *черная*, *красная*, *золотистая*, *альпийская*, *тяньшанская*, *красивая* и др. У них различная окраска цветков и плодов, на побеге по-разному располагаются соцветия, имеются некоторые отличия и в форме листьев (рис. 50).

Физиолого-биохимический критерий фиксирует неодинаковость химических свойств разных видов. Так, все виды смородины специфичны по составу белков, Сахаров и других органических соединений в клетках растений, что легко выявляется даже по вкусовым качествам их плодов, по аромату цветков, плодов, листьев, почек, коры.

Географический критерий свидетельствует, что каждый вид обладает своим ареалом. Например, ареалом *смородины черной* являются северные регионы Евразии, тогда как ареалом *смородины золотистой* — центральные территории Северной Америки, *смородины тяньшанской* — лесной пояс гор Центрального

Тянь-Шаня в Средней Азии.

Экологический критерий позволяет различать виды по комплексу абиотических и биотических условий, в которых они сформировались, приспособившись к жизни. Так, *смородина черная* возникла в условиях значительного почвенного увлажнения, ее естественные заросли нередко встречаются по берегам рек, в низинах на заливных лугах, тогда как *смородина золотистая* сформировалась в засушливых условиях остепненных предгорий и на влажных местах не произрастает. В искусственных насаждениях (в садах и парках) эти оба вида иногда



Рис. 50. Смородина красная и смородина черная

выращиваются рядом, но они цветут в разные сроки: *смородина черная* цветет ранней весной, *смородина золотистая* — в первой половине лета.

Репродуктивный критерий обуславливает репродуктивную (генетическую) изоляцию вида от других, даже близкородственных. Все виды имеют особые механизмы, защищающие их генофонд от притока чужеродных генов. Это достигается главным образом особенностями генотипа у особей каждого вида —

количеством и строением его хромосом. Генетический критерий является наиболее значимым, так как именно он контролирует репродуктивную изоляцию вида.

Изоляция видов достигается и рядом других вспомогательных механизмов, например несовпадением сроков размножения у разных видов, различием ритуального поведения при скрещивании, наблюдаемого у многих животных, морфологическими различиями органов воспроизведения и др. Если же, например, у растений произойдет случайное опыление цветка пылью другого вида или у животных — случайное спаривание, то в преобладающем большинстве случаев мужские половые клетки в новой для них среде погибнут, не осуществив (обычно даже не достигнув яйцеклетки) оплодотворения.

Изредка в природе встречается межвидовое скрещивание. Однако возникшие таким путем гибриды оказываются или нежизнеспособными и вскоре гибнут, или бесплодными.

Каждый вид представляет собой генетически замкнутую систему, репродуктивно изолированную от других видов.

Реально вид существует в форме популяций. И хотя вид является единой генетической системой, его генофонд представлен генофондами популяций. Накопившись со временем в большом количестве, новые вариации генов в генофонде какой-либо популяции могут привести к ее изоляции от других популяций этого вида. Таким путем возникают новые виды. Вот почему популяцию как наименьшее подразделение вида, изменяющееся во времени, считают элементарной единицей эволюции.

1. Назовите знакомые вам виды растений и животных, обитающих рядом с вашим домом или школой.

2*. Какие механизмы препятствуют скрещиванию между разными видами?

3. Почему репродуктивный критерий считают важнейшей характеристикой вида?

§ 40 Процессы видообразования

Видообразование — сложный процесс в развитии живой материи. Возникновение нового вида всегда сопровождается разрывом связей с родительским видом и превращением в новую, обособленную совокупность популяций и организмов. Новый вид может образоваться из одной популяции или группы смежных популяций.

Возникновение нового вида — центральное событие эволюции.

Проблема видообразования принципиально была решена Ч. Дарвином, показавшим роль дивергенции (расхождения признаков), естественного отбора и острой внутривидовой конкуренции между организмами.

По современным представлениям, видообразование осуществляется благодаря популяциям, накопившим в себе устойчивые генотипические и фенотипические различия приспособительного характера. Эти различия в результате приводят к изоляции популяции и образованию нового, самостоятельного вида. Эволюционные процессы, протекающие в популяциях на основе наследственной изменчивости под контролем естественного отбора и приводящие к образованию новых видов, называют *микроразволюцией*.

Образование видов определяется многими причинами. В одних случаях это происходит в результате пространственно-территориальной (географической) изоляции, препятствующей регулярному обмену генетической информацией. В других случаях этот процесс может быть вызван расселением вида в новые условия за пределы его ареала. В третьих случаях образование нового вида может быть обусловлено биологической (репродуктивной) изоляцией, возникшей внезапно, например, из-за полиплоидии или мутации. Микроэволюция представляет собой магистральный путь увеличения многообразия видов на Земле и общей «суммы жизни» в биосфере.

Микроэволюция приводит к изменению генофонда популяции внутри вида и к образованию новых видов на Земле.

Новые виды могут возникать из смежных популяций на разных территориях либо внутри ареала исходного вида.

Географическое (аллопатрическое) видообразование возникает в результате пространственно-территориальной изоляции одной популяции или группы популяций вида. Например, отдельные популяции в ареале вида могут быть разъединены горами, реками, пустынями, автострадами, застройками и другими ландшафтными барьерами, затрудняющими частый обмен генами между популяциями.

Географической изоляцией Ч. Дарвин объяснял появление разнообразия дарвиновых выюрков на нескольких островах Галапагосского архипелага в Тихом океане. Вероятно, дарвиновы выюрки — это потомки нескольких особей выюрков из Южной Америки, случайно унесенных в море во время бури, осевших и сохранившихся на Галапагосских островах. Попавшие туда выюрки стали основателями популяций на разных островах. Изолированные друг от друга, эти популяции спустя некоторое время обособились в новые самостоятельные виды.

Унесенные ветром выюрки, попав на отдельный остров Галапагосского архипелага, оказались в среде, отличающейся от той среды, которую они покинули. В то же время они столкнулись с условиями того конкретного острова, куда случайно попали. Под давлением естественного отбора популяции выюрков эволюционировали на разных островах в разных направлениях. В этом процессе они приобрели необычный внешний вид, строение клюва и своеобразные повадки, особенно в добывании пищи.

То же происходит при расселении вида на большую территорию. В результате более удаленные от центра расселения периферийные популяции и их группы, интенсивно преобразуясь в связи с освоением новых мест обитания, становятся родоначальниками новых видов. Примером могут служить виды одуванчика на

территории Евразии или судака, населяющего водоемы Европы (рис. 51).

Судак обыкновенный (*Stizostedion lucioperka*) имеет огромный ареол. Он распространен в бассейнах Балтийского, Черного, Азовского и Каспийского морей. Населяет реки,



Рис. 51. Судак обыкновенный (а) и судак берш (б)

чистые озера и моря. В соленые воды морей судак заходит на откорм, но нерестится только в пресной воде. *Судак берш* (*S. volgensis*) живет в реках бассейнов Каспийского, Азовского и Черного морей, но встречается там главным образом в низовье и среднем течении рек, где и нерестится. В море на откорм далеко не заходит, держится преимущественно пресных вод. *Берш* по размерам меньше *судака обыкновенного*, и на нижней челюсти у него нет клыков. *Судак морской* (*S. marinus*) — крупный, но отличается от *судака обыкновенного* и *берша* меньшим размером глаз, меньшим числом ветвистых лучей в спинном плавнике. В отличие от других судаков, *судак морской* совсем не заходит в реки, избегает опресненных районов и нерестится в море на каменистых участках побережья.

Характерно, что эти виды судака могут одновременно находиться в одних и тех же водных бассейнах, но не скрещиваются между собой, поскольку уже изолировались друг от друга.

Новые виды могут возникать также вследствие прерывистости (мозаичности) ареала. Примером такого процесса служит возникновение близкородственных видов одуванчика от широко распространенного родительского вида.

Исходный вид одуванчика миллионы лет назад занимал огромную территорию всего континента Евразии. Изменение почвенно-климатических условий на этой территории, появление гор, степей, пустынь, засоленных и сырых почв обусловили возникновение многочисленных видов одуванчика (более 200 видов), обитающих в холодной, умеренной и субтропической зонах. Широко распространившийся вид *одуванчик обыкновенный* (*Taraxacum officinale*) сохранился на лугах, лесных полянах, у обочин дорог и в сорных местах около жилья. *Одуванчик кок-сагыз* (*T. kok-saghyz*) сформировался в условиях жаркого засушливого климата на твердой солоноватой почве. В отличие от *одуванчика обыкновенного*, у *одуванчика кок-сагыз* листья узкие, глубоко рассеченные, а в млечных сосудах корня содержится значительный процент каучука. В высокогорье, на холодных альпийских лугах Центрального Тянь-Шаня, сформировался вид *одуванчик розовый* (*T. roseum*), внешне очень похожий на вид *одуванчик обыкновенный*, но с соцветиями из розовых язычковых цветков.

Географическое видообразование всегда протекает довольно медленно. Этот процесс идет на протяжении сотен тысяч поколений особей популяции. Только за такие большие промежутки времени в изолированных популяциях вида с помощью их организмов вырабатываются особые признаки и свойства, которые приводят к репродуктивной изоляции.

Симпатрическое (биологическое) видообразование происходит в пределах ареала исходного вида в результате биологической изоляции. Оно осуществляется на основе территориально единой популяции, у которой имеются четко различающиеся формы особей. Возникновение новых видов при симпатрическом видообразовании может происходить различными путями.

Один из них — возникновение новых видов при быстром *изменении генотипа*. Это происходит, например, при полиплоидии, когда новые формы оказываются сразу генетически изолированными от родительского вида.

Если случайно возникшие в природе полиплоиды способны дать жизнеспособное потомство и устоять в естественном отборе, то они могут быстро распространиться и сосуществовать рядом с исходным видом. Этот способ видообразования часто встречается у растений и простейших. У многоклеточных животных он наблюдается редко — лишь у некоторых беспозвоночных, например у дождевого червя.

Новые виды могут возникать и при гибридизации с последующим удвоением числа хромосом. Так возникли многие культурные виды растений. Например, *культурная слива* (*Prunus domestica*) создана гибридизацией *терна* (*Pr. spinosa*) с *альчой* (*Pr. divaricata*) с последующим удвоением хромосом.

Другой путь симпатрического видообразования обусловлен экологическими событиями, например: сезонной изоляцией популяций внутри вида; изоляцией из-за выработки иных пищеварительных ферментов в связи с переходом на питание другим видом растений (часто наблюдается у тлей); изоляцией, вызванной появлением особого поведения у особей.

Морфологические различия близких видов (например, окраска, размеры) также могут обуславливать возникновение новых видов.

Виды, возникшие симпатрическим (биологическим) путем, обычно очень похожи по внешним морфофизиологическим признакам на исходный вид.

1. Охарактеризуйте основные отличия аллопатрического (географического) и симпатрического (биологического) типов видообразования.

2*. Подумайте.

- Какова роль случайности в эволюции видов?
- Происходит ли видообразование в современную эпоху?

3. Найдите ошибку в утверждениях. Сформулируйте их правильно.

• Процессы изменения вида в ходе естественного отбора называют микроэволюцией.

• Процесс возникновения нового вида, который сопровождается разрывом связи с родительским видом, называют дивергенцией.

§ 41 Макроэволюция — результат микроэволюций

Все известные микроэволюционные процессы протекают в совокупностях перемешивающихся особей вида. В итоге у нового вида из-за произошедших в процессе микроэволюции бесчисленных генетических сочетаний и при воздействии естественного отбора появляются новые видовые характеристики, обеспечивающие возможность существования в определенных условиях внешней среды.

Новые признаки и свойства могут стать причиной освоения новым видом иных мест обитания, новых источников питания. Это приводит вид к усилению размножения, увеличению численности и к расселению на новые территории. В этом процессе отдельные группы особей всегда оказываются в несколько иных местообитаниях. На этой основе развивается популяционная структура вида, происходит лучшее освоение им различных мест обитания на территории ареала, а также создаются возможности для новой дифференциации вида.

С образованием нового вида микроэволюционные процессы не прекращаются, а продолжают далее без какого-либо перерыва. Новый вид, завершая один этап грандиозного и постоянно идущего в живом мире процесса эволюции, знаменует начало нового этапа — образования нового вида, с новыми свойствами и новой судьбой. Поэтому вид называют *качественным этапом* эволюционного процесса. Непрерывно текущий микроэволюционный процесс видообразования сопровождается крупными эволюционными событиями, захватывающими другие систематические группы крупнее, выше вида. Их называют *надвидовыми* группами. Это род, семейство, отряд (только у животных), класс, тип (отдел — у растений), царство и надцарство.

Эволюционные процессы, происходящие в надвидовых систематических группах, называют *макроэволюцией* (греч. *makros* — «длинный», «большой»). Макроэволюция — это процессы эволюционных событий крупного масштаба, ведущие к формированию групп организмов более высокого ранга, чем вид.

Макроэволюция не имеет специфических механизмов и осуществляется только посредством микроэволюции, являясь ее общим внешним выражением. Отсутствие принципиальных различий в протекании микроэволюционного и макроэволюционного процессов позволяет рассматривать их как две стороны единого

эволюционного процесса. Единство и непрерывность микроэволюционного процесса при этом не нарушаются: все так же протекают элементарные эволюционные процессы внутри каждого новообразованного вида не только до нового очередного видообразования, но и после него.

Из одного исходного вида могут возникнуть несколько разных видов, вместе составляющих общую группу — род. Роды могут быть объединены в более сложную группу — семейство, а семейства — в еще более сложные, крупные группы (классы, типы и т. д.), связанные общностью происхождения и общими чертами строения.

Целостность групп надвидового ранга определяется не генетическим свойством популяций (как у вида), а единством строения и свойств, подчеркивающим родство этих групп и общую близость по комплексу признаков.

В итоге сложных межвидовых отношений возникают особые системы форм родственных организмов, биологически изолированных друг от друга, такие как род, семейство, отдел и т. д. Например, виды *черной* и *красной смородины* входят в один род смородина. Вместе с близкородственным родом крыжовник они входят в семейство Крыжовниковые, класс Двудольные, отдел Покрытосеменные, царство Растения и надцарство Эукариоты. При этом у всех этих групп организмов, входящих в таксоны (систематические объединения), имеется много сходных свойств, подчеркивающих их родство.

Возникновение сложной системы соподчиненных форм родственных организмов различного ранга выше вида является событием макроэволюции.

Макроэволюция происходит на протяжении геологических эпох в течение десятков миллионов лет. Огромные масштабы макроэволюционных явлений, охватывающие миллионы лет (например, возникновение новых семейств и отрядов), исключают возможность их непосредственного экспериментального исследования. Поэтому для доказательства макроэволюционного процесса пользуются косвенным материалом: данными систематики, палеонтологии, биогеографии, морфофизиологии, сравнением структур ДНК, молекул хлорофилла или гемоглобина и др.

Имеющиеся в настоящее время доказательства позволяют с большой степенью точности восстановить ход эволюционного (исторического) процесса на любых уровнях выше вида и выделить общие, характерные для большинства групп особенности их исторического развития (рис. 52).

Однако все эти процессы макроэволюции основаны на уже известных пусковых механизмах микроэволюции.

Весь процесс макроэволюции осуществляется только посредством элементарных процессов микроэволюции.

Понимание механизмов протекания микроэволюции, первично вызывающей дивергенцию популяций, обеспечивает понимание исторического хода эволюционных событий макроэволюции, результатом которой явилось огромное разнообразие биологических форм жизни на нашей планете.

1. В чем сходство процессов микроэволюции и макроэволюции?

2*. Почему вид называют качественным этапом эволюции?

3. Расположите в определенной иерархии группы животных разных таксонов.

Домовая мышь. Грызуны. Млекопитающие. Мышиные. Хордовые. Эукариоты. Животные. Мышь.

§ 42 Основные направления эволюции

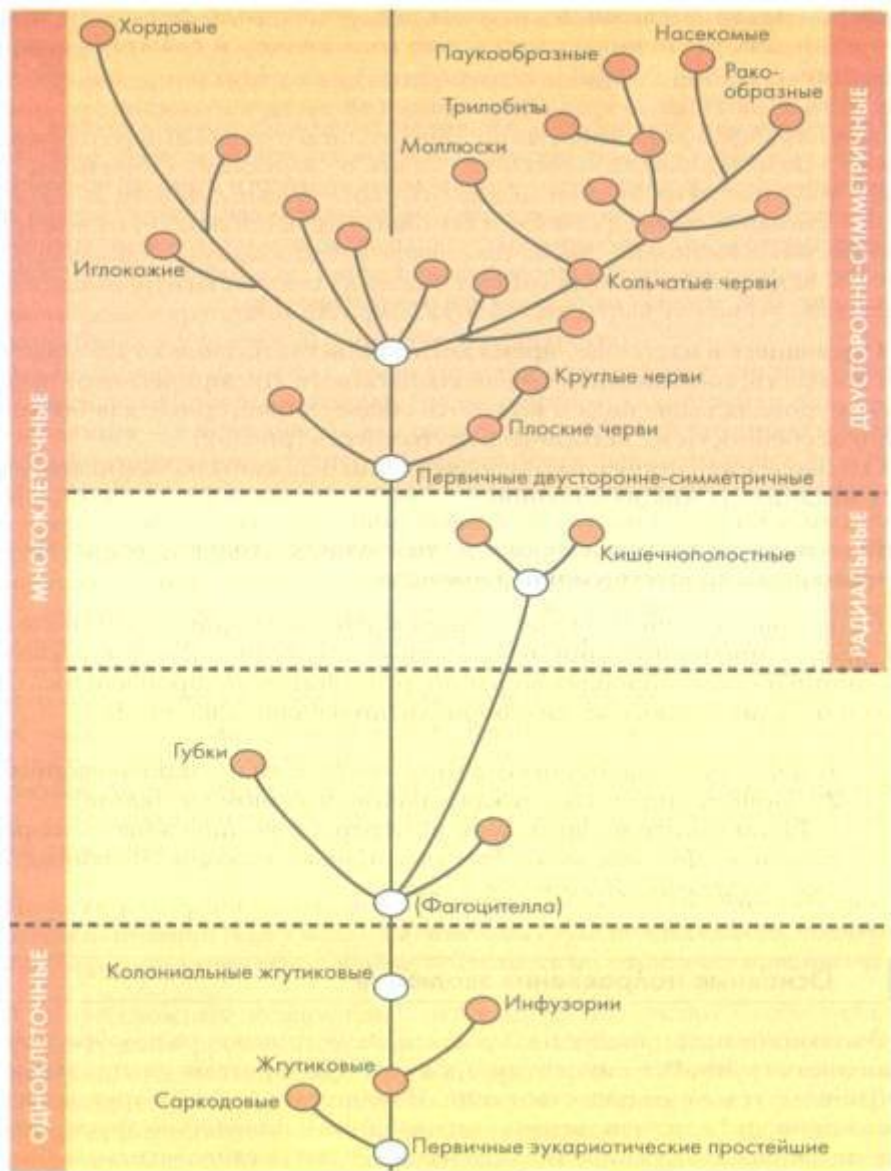


Рис. 52. Основные этапы исторического развития животного мира

Эволюционный процесс на Земле создает огромное разнообразие видов и надвидовых групп. Все они в этом процессе приобретают специальные приспособления к условиям существования. Изменения условий окружающей среды часто приводят к исчезновению у видов одних и появлению других свойств, обеспечивающих лучшее приспособление к жизни, а следовательно, большую выживаемость, увеличение размножения организмов и их более широкое распространение. Возрастание приспособленности организмов к окружающей среде, сопровождающееся увеличением численности и более широким распространением вида, называют **биологическим прогрессом** (лат. *progressus* — «движение вперед»).

В настоящее время биологический прогресс наблюдается у покрытосеменных растений, а среди животных — у насекомых, костистых рыб, птиц и млекопитающих.

Снижение приспособленности организмов к условиям среды, сопровождающееся уменьшением численности и сужением области распространения, называется **биологическим регрессом** (лат. *regressus*— «возвращение», «движение назад»). Биологический регресс переживают группы, не сумевшие приспособиться к изменениям условий среды и не выдержавшие конкуренции с другими группами.

Изучение особенностей эволюции крупных надвидовых групп (макроэволюции) позволило выделить *три главных направления*, которые ведут к биологическому прогрессу: ароморфоз, идиоадаптацию, общую дегенерацию.



Алексей Николаевич
Северцов (1866–1936)

Идея о возможных путях достижения биологического прогресса в процессе эволюции была разработана российским ученым-эволюционистом А.Н. Северцовым в 1925 г.

Ароморфоз (от греч. *airo*— «поднимаю» и *morphosis*— «образец», «форма»), или *морф о физиологический прогресс*, имеет большое значение для организма в целом и всегда ведет к биологическому прогрессу. По А.Н. Северцову, ароморфоз характеризует возникновение в ходе эволюции таких признаков, которые повышают общий уровень всех свойств организмов. Ароморфозы дают организмам большие преимущества в борьбе за существование и открывают новые возможности в использовании внешних условий

среды (освоение новых, прежде недоступных источников питания и новых местообитаний).

В эволюции живых организмов можно выделить несколько крупных ароморфозов: возникновение фотосинтеза, появление многоклеточности, половое размножение, приобретение постоянной температуры тела, появление головного мозга, прогрессивное развитие кровеносной и дыхательной систем, развитие челюстей у предков позвоночных животных, возникновение семян у растений и другие события.

Ароморфозы — это крупные эволюционные преобразования в строении и функциях организмов.

Ароморфозы — адаптации, полезные организмам в самых разнообразных условиях среды. Они имеют сложный комплексный характер. Это вызвано тем, что преобразование происходит сразу по многим признакам. Например, появление у растений пыльцевой трубки, доставляющей спермии к яйцеклетке, освободило процесс оплодотворения от обязательного участия воды, что обеспечило цветковым растениям возможность широко распространиться по суше. Одновременно это свойство сопровождалось рядом других ароморфных признаков: развитием проводящей сосудистой системы, появлением устьиц, регулирующих испарение, развитием рыльца на пестике, обеспечивающего прорастание пыльцевой трубки в пределах пестика.

Формирование ароморфоза — очень длительный процесс, происходящий на основе наследственной изменчивости и естественного отбора. По мнению А. Н. Северцова, ароморфозы обеспечили возникновение новых классов, отделов и типов организмов.

Идиоадаптация (от греч. *idios*— «особый», «своеобразный» и лат. *adaptatio*— «приспособление», «прилаживание») — еще одно направление эволюции. Оно характеризуется сменой частных приспособлений, но при этом общий уровень биологической организации группы не меняется.

Благодаря идиоадаптации возникло большое разнообразие приспособительных форм организмов к определенному образу жизни в конкретных условиях среды. Идиоадаптации обусловили специфичность признаков таких групп, как вид, род, семейство.

Идиоадаптации выражают частные способы биологического прогресса, но как бы лежащие в «одной плоскости». Ярким примером идиоадаптации на уровне отдела могут служить покрытосеменные растения, создавшие множество различных жизненных форм (деревья, кустарники, травы), способов распространения семян, опыления и других приспособительных свойств.

Примером идиоадаптации на уровне семейства может служить разнообразие свойств дарвиновых вьюрков, обнаруженных Ч. Дарвином на островах Галапагосского архипелага. Все виды дарвиновых вьюрков имели сходный уровень организации, но, находясь в различных условиях отдельных островов, приобрели там совершенно разные свойства в размещении своих укрытий, постройке гнезд и особенно в способах добывания пищи. Одни виды освоили питание плодами растений, другие — семенами, третьи стали насекомоядными, а один вид даже приспособился слизывать кровь у раненых животных. Все эти приспособления повлекли за собой изменения в облике вьюрков (в форме клюва, размере головы, хвоста и всего тела), поведении и общем образе жизни (рис. 53).

Общая дегенерация (лат. *degenero*— «вырождаюсь») — третье направление эволюции, связанное с упрощением строения и образа жизни организмов в результате приспособления к более простым условиям существования.

Примером могут служить изменения в строении животных, произошедшие при переходе к неподвижному, сидячему образу жизни и при паразитизме.



Рис. 53. Разнообразие дарвиновых вьюрков на островах Галапагосского архипелага — пример идиоадаптации

Переход к паразитическому образу жизни у многих организмов сопровождается резким упрощением ряда органов и даже полной потерей некоторых из них. Так, растение *повилика* (*Cuscuta europaea*), паразитирующее на многих цветковых растениях, полностью утратило способность к фотосинтезу, а его мелкие чешуйчатые листья лишены хлорофилла. Потерей органов пищеварения

характеризуются многие черви-паразиты, приспособившиеся к жизни в кишечнике животных и человека: например, *свиной цепень* — паразит человека, не имеющий кишечника.

Упрощение строения при соответствующем образе жизни организмов (например, при паразитизме) часто обеспечивает процветание группе. Благодаря общей дегенерации облегчается вхождение группы в новую адаптивную среду. Упрощение следует рассматривать как приобретение новых признаков, делающих возможным такой переход.

Соотношение направлений эволюции. Три основных направления эволюции лишь в учебных целях рассматриваются по отдельности. На самом же деле в природе эти процессы идут непрерывно и одновременно, сочетаясь между собой или сменяя друг друга. Обычно ароморфозы задают и определяют новые направления и этапы в развитии живого мира. Затем эволюция идет по пути идиоадаптации или дегенерации, обеспечивая организмам групп существование в новой среде. По истечении некоторого времени весь этот процесс может многократно повториться, увеличивая многообразие форм организмов и их групп.

Взаимоотношения трех основных направлений эволюции, их чередование А.Н. Северцов изобразил в виде схемы (рис. 54).

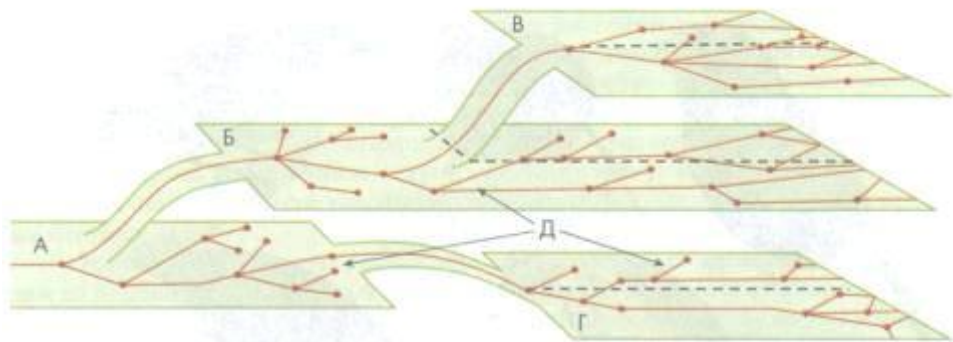


Рис. 54. Схема основных путей биологического прогресса: А — исходный уровень биологической организации группы; Б и В — ароморфозы; Г — дегенерация; Д — различные идиоадаптации (разветвления на плоскостях)

1. В чем сходство и различия ароморфоза и дегенерации?
- 2*. Какую эволюционную роль выполняют ароморфозы и идиоадаптации?
3. Замените выделенные слова в утверждениях термином.

- *Адаптации широкого значения, полезные организмам в самых разнообразных условиях среды, повышают общую жизнестойкость организмов.*
- *Частные приспособления организмов к определенному образу жизни в конкретных условиях внешней среды обуславливают появление в процессе эволюции разнообразия форм организмов.*
- *Упрощение строения организмов путем утраты отдельных органов обеспечивает виду возможность вхождения в новую среду.*

§ 43 Основные закономерности биологической эволюции

Биологическая эволюция (лат. *evolutio* — «развертывание») — это процесс постоянного и направленного естественным отбором изменения форм организмов на

Земле, обеспечивающий их приспособленность к условиям окружающей среды. Достигается такая приспособленность путем отбора из множества случайных изменений таких, которые облегчают выживание организмов в конкретных условиях среды.

Эволюция — это исторический процесс развития живой природы, который зависит от взаимодействия многих внешних и внутренних факторов при ведущей роли отбора.

Эволюционный процесс на Земле создает огромное разнообразие видов и надвидовых групп. Все они в этом процессе приобретают специальные приспособления к условиям существования. Изменения условий окружающей среды наряду с естественным отбором приводят к появлению у видов все новых и новых приспособлений, обеспечивающих организмам более выгодное существование, лучшую выживаемость, возрастание возможности размножения и более широкое распространение. Путем видообразования исторически возникла вся система живых

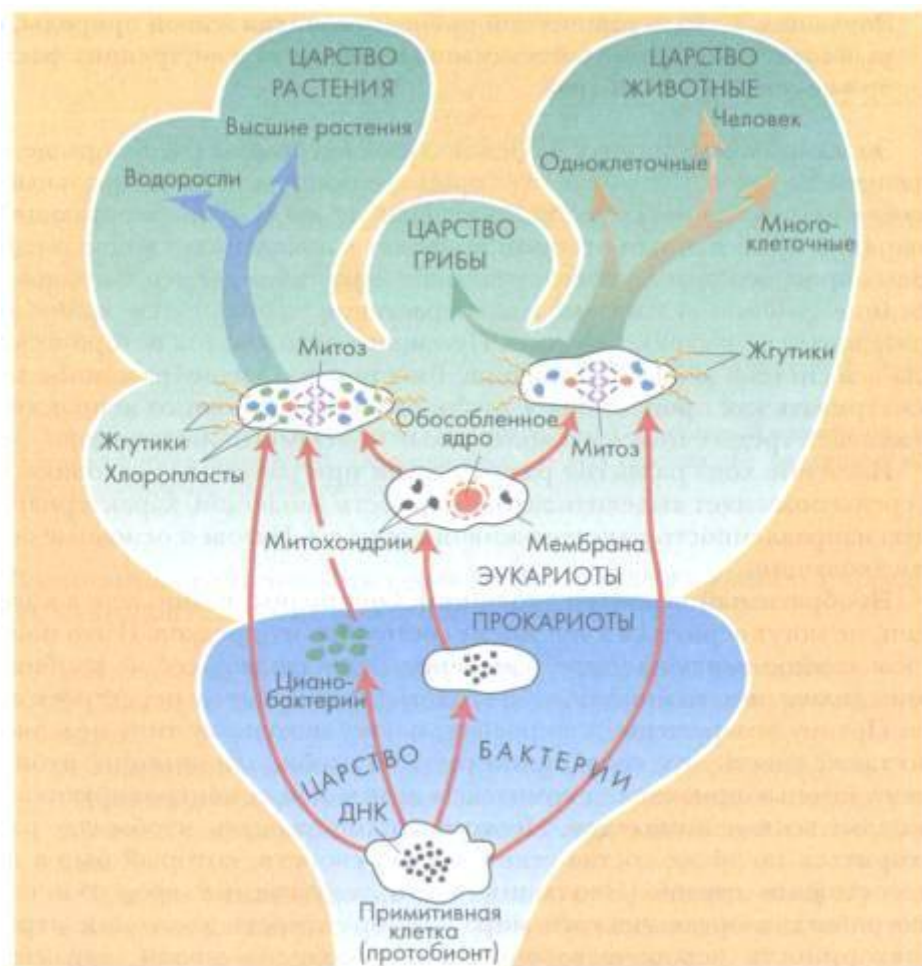


Рис. 55. Эволюционное развитие органического мира

организмов. Вместе с тем видообразование можно рассматривать как процесс более глубокого и эффективного использования окружающей среды с помощью конкретных приспособлений у видов.

Изучение хода развития разных групп при различных условиях внешней среды позволяет выделить закономерности эволюции, характеризующие общую направленность развития живой природы. Назовем основные особенности эволюции.

Необратимый характер эволюции. Организмы, возникшие в ходе эволюции, не могут вернуться к прежнему состоянию их предков. И это понятно, так как каждое эволюционное изменение представляет собой комбинацию многих независимо возникающих и подхваченных отбором перестроек в генотипе. Потому возвращение к первоначальному исходному типу невозможно. Надо также учесть, что эволюционируют не особи, а популяции, отбираются не отдельные признаки, а комплексы признаков, и контролируются отбором целые генные комплексы. Поэтому трудно ожидать, чтобы еще раз мог повториться такой же состав генетических свойств, который был в исходном состоянии группы. Эволюция — это *необратимый процесс* исторического развития органического мира. Необратимость эволюции отражает неповторимость исторического процесса развития жизни, характерной чертой которого является не возврат к старому, а образование новых качеств живого.

Прогрессивное усложнение форм жизни. В прогрессивном усложнении органического мира проявляется общая направленность (тенденция) эволюционного процесса. Она определялась не внутренней потенцией природы, а многократной дивергенцией (расхождением) и вымиранием многих ветвей потомков при сохранении какой-то единственной ветви, давшей начало новому семейству, его родам и видам, приспособившимся к жизни в пределах их среды обитания (рис. 55).

В процессе эволюции отсутствует целенаправленность. Движение ее полностью зависит от естественного отбора. Эволюция — процесс *непрограммированного развития* живой природы.

Приспособленность видов к среде обитания. Адаптация, или приспособленность, — это совокупность морфологических, физиологических, поведенческих и других особенностей вида, обеспечивающих его жизнедеятельность в определенных



Рис. 56. Рясника (1) и непентес (2): а — общий вид растения; б — ловчие листья, обеспечивающие растение питательными веществами при переваривании пойманных насекомых



Рис. 57. Примеры адаптаций: 1 — гага на гнезде: ее покровительственная окраска делает птицу малозаметной; 2 — бабочка березовой пяденицы на коре

условиях внешней среды. Различают приспособления к жизни в обширной зоне среды (*общие адаптации*), например наличие конечностей у наземных позвоночных, и приспособления к определенному образу жизни (*частные адаптации*), например роющие конечности крота, конечности копытных, ловчие листья у росянки круглолистной и непентеса и т. п. (рис. 56).

Совокупность адаптаций придает строению и жизнедеятельности организмов черты целесообразности. Однако, как доказали Ч. Дарвин и многие другие ученые-эволюционисты нашего времени, все адаптации возникают в процессе эволюции в результате естественного отбора (рис. 57). Достигнутые конкретные адаптации обычно бывают относительными, так как всегда к данной среде возможны и другие, более совершенные адаптации.

Любые адаптации вида и надвидовых групп могут возникать лишь при наличии у организмов и популяций определенных генетических свойств, формирующихся в микроэволюционных процессах. Процесс эволюции любого масштаба всегда осуществляется с помощью микроэволюции и направляется естественным отбором, создающим приспособления к определенной конкретной среде, а не на все «случаи жизни», поскольку приспособленность всегда относительна.

Эволюция — это необратимый процесс исторического развития организмов, запрограммированно идущий на нашей планете с момента возникновения на ней жизни.

1. Какова роль естественного отбора в эволюции?
- 2*. Докажите, что эволюция носит необратимый характер.
3. От чего зависит появление приспособленности у организмов?

Лабораторная работа № 5 (см. Приложение, с. 232).

Краткое содержание главы

На Земле существует огромное разнообразие видов. Их возникновение и приспособительные свойства объясняются учением об эволюции.

Современное учение об эволюции опирается на теорию естественного отбора Ч. Дарвина. Главными движущими силами эволюции, по Дарвину, являются наследственность, изменчивость, борьба за существование и отбор. Дарвин, раскрыв роль вида в процессе эволюции, тем самым опроверг организмоцентрический подход

к развитию жизни, существовавший до него в естествознании. Основная заслуга Дарвина в том, что он объяснил механизм эволюционного процесса и происхождения видов, доказав, что вид происходит от вида.

Учение об эволюции основано на популяционной концепции видообразования. Различные популяции вида, оказываясь в новых условиях окружающей среды, с помощью мутаций и отбора накапливают свойства, отличающие их друг от друга. Это приводит популяции к репродуктивной изоляции и, следовательно, к их дивергенции и обособлению в качестве новых видов.

Популяция — это наименьшее подразделение вида, меняющееся во времени. Поэтому ее называют элементарной единицей эволюции. Процесс изменения популяций при участии естественного отбора называют микроэволюцией. Микроэволюционный процесс завершается образованием нового вида. Микроэволюция происходит на основе явлений наследственной изменчивости под контролем естественного отбора.

Благодаря процессу микроэволюции на Земле идет постоянное увеличение общей суммы видов и создается огромное биологическое разнообразие видов, хорошо адаптированных к среде обитания.

Вид является основной структурной единицей в системе живых организмов. Вид — особый, качественный этап эволюции. Каждый вид характеризуется репродуктивной изолированностью от всех других видов.

Эволюционные события крупного масштаба, ведущие к образованию групп организмов более высокого ранга, чем вид, отражают процесс макроэволюции. Однако все макроэволюционные процессы происходят на основе микроэволюции.

Эволюция — это необратимый процесс исторического развития жизни, идущий постоянно путем образования новых видов с их новыми адаптивными качествами. При этом Эволюция производит прогрессивное усложнение форм жизни от первичных организмов до человека по пути их адаптаций к среде обитания. Эволюция — это ^запрограммированный процесс. Направление, скорость и ход развития живой природы задаются и осуществляются отбором. В природе действует естественный отбор, а человек использует искусственный отбор.

Проверьте себя

1. Назовите основные закономерности эволюции.
 2. В чем сходство микроэволюции и макроэволюции?
 3. Почему популяцию называют формой существования вида?
 4. Какую роль в эволюционном процессе играет борьба за существование?
 5. Охарактеризуйте основные направления эволюции.
 6. Раскройте значение видообразования в жизни природы.
 7. В каждой строчке три термина взаимосвязаны определенным образом. Назовите их. Отметьте четвертый термин, не имеющий к ним отношения:
- эволюция, адаптация, популяция, видообразование;
 - микроэволюция, популяция, приспособленность, макроэволюция;
 - идиоадаптация, ароморфоз, дегенерация, биологический прогресс;
 - естественный отбор, искусственный отбор, приспособленность, дивергенция.

Проблемы для обсуждения

1. Какие явления лежат в основе необратимости эволюции?
2. Можно ли считать все причины, вызывающие гибель организмов, естественным отбором? Если организмы погибли при землетрясении, означает ли это, что они подверглись отбору?
3. В каких событиях проявляется биологический прогресс? Охарактеризуйте пути его осуществления.

Основные понятия

Эволюция. Эволюционное учение. Движущие силы эволюции. Микроэволюция. Макроэволюция. Вид. Популяция. Видообразование. Борьба за существование. Естественный отбор. Искусственный отбор. Биологический прогресс. Биологический регресс. Направления эволюции.

Глава 8

Происхождение человека (антропогенез)

Изучив главу, вы сумеете:

- объяснить происхождение человека и охарактеризовать этапы антропогенеза;
- осознать, как в эволюции человека действуют общие законы развития жизни;
- раскрыть суть взаимоотношений человека и природы;
- описать особенности эволюции человека.

§ 44 Эволюция приматов

Человек стал разумным и создал общество благодаря своему труду. Это событие, учитывая биологическую принадлежность человека к миру животных, подчеркивает грандиозность произошедших изменений. Правильно понять происхождение человека можно, если рассмотреть сначала эволюцию отряда приматов.

Человек как один из представителей млекопитающих относится к отряду приматов, к которому принадлежат также низшие приматы, или полуобезьяны (тупайи, долгопяты, лемуры, лори), и высшие приматы, или обезьяны.

Первые млекопитающие возникли в мезозойскую эру в самом конце триасового периода (около 205 млн лет назад) от существовавших в то время пресмыкающихся. От примитивных млекопитающих в дальнейшем сформировались более совершенные плацентарные млекопитающие — насекомоядные. Они стали предками современных низших приматов — тупайевых, лемуриновых и долгопятовых (рис. 58).

Современные представители тупайевых и долгопятовых встречаются в тропических дождевых и горных лесах Индокитая, на островах Малайского архипелага и на Филиппинах. Это мелкие полуназемные животные, обитают преимущественно в подлеске, на нижних ветках деревьев, прячутся в дуплах или полостях бамбука. Обычно активны в сумерках и ночью. Питаются растениями, насекомыми, мелкими ящерицами и пауками. Держатся парами. Сезонности в размножении нет. Большие пальцы кистей и стоп несколько противопоставлены остальным четырем и потому свободно обхватывают ветви. У



Рис. 58. Перохвостая тупайя (1) и филиппинский долгопят (2)

обезьянам (дриопитекам). Это произошло примерно 20-25 млн лет назад. Их ископаемые останки найдены в Восточной Африке, Европе и Азии. Ученые полагают, что дриопитеки представляют собой узел родословного древа приматов, от которого и берет начало ветвь, ведущая к появлению *Человека разумного*.

Дриопитековые по строению костей сходны с гориллами, шимпанзе и человеком.

Дриопитеки существовали довольно долго (около 20 млн лет), затем все вымерли. Жили стадами. Рост дриопитеков достигал 1 м, питались они зернами и корнями, вели полудревесный-полуназемный образ жизни, могли частично передвигаться на задних конечностях. Однако большую часть времени проводили на деревьях. Могли подолгу сидеть выпрямившись (прямосидение) на толстых ветках, подобно шимпанзе, и хорошо передвигаться по веткам крон деревьев. У дриопитеков уже отмечается изреженный волосной покров тела.

Отечественный ученый-антрополог Я.Я. Рогинский в конце 70-х гг. XIX в., характеризуя роль древесной жизни древней предковой формы человека, отмечает ее большое влияние на появление свойств, которые могли привести в процессе эволюции к увеличению массы головного мозга и усложнению его структуры, что позволило дриопитекам дать начало высокоразвитым формам обезьян.

Я.Я. Рогинский отмечает, по крайней мере, четыре свойства, способствующих развитию головного мозга. Прежде всего, это передвижение по деревьям с помощью охватывания ветвей и перемещения тела в самых разных направлениях с разной скоростью, что требовало хорошей ориентации среди веток различной толщины и удаленности. При этом верхние конечности могли совершать круговые движения с размахом более 180°. Развитие такой чрезмерной моторики, автоматизм в движениях могли способствовать усложнению высшей нервной деятельности. Другое свойство — питание плодами деревьев, требовавшее «исследовательской деятельности» (опробование с помощью рук и зубов различных плодов на разных деревьях, прежде чем они пойдут в пищу). Такая деятельность способствовала развитию кистей рук. Третьим свойством являлась способность к сложным движениям среди ветвей, что обусловило развитие стереоскопического зрения и перемещение в связи с этим глазниц с боковых поверхностей лицевого скелета во фронтальную плоскость. Четвертое свойство — сокращение числа рождающихся детенышей из-за быстрых перемещений в кронах деревьев. Низкая плодовитость компенсировалась длительной заботой матери о своем потомстве, тщательным уходом за ним и стадной защитой детенышей.

Наиболее близкая к человеку ветвь из дриопитеков — *рамапитек*. Его челюсть найдена в Индии в 1934 г., и в честь бога Рамы этот представитель поздних дриопитеков был назван рамапитеком. Возраст находки — 12-14 млн лет. Ископаемые останки рамапитека неоднократно находили также в Кении, Турции, Венгрии и Китае. У рамапитека уменьшенные размеры клыков. Ученые полагают, что это вызвано тем, что рамапитеки уже не зубами, а орудиями (палкой, камнем) разбивали крепкую скорлупу орехов, бобов и других плодов. Но по внешнему виду рамапитеки все же были более похожи на обезьян, чем на человека. Они вели стадный образ жизни, много времени проводили на земле. Рамапитеки вымерли, и пока еще нет ископаемых материалов, подтверждающих, что именно от них идет линия к человеку. Полагают, что рамапитеки — это боковая ветвь эволюции.

Современные человекообразные обезьяны — шимпанзе, горилла, орангутан, гиббон — представляют формы, уклонившиеся от линии развития, общей с человеком, идущие как бы параллельно с ней. Но находки, сделанные во многих районах Африки, позволяют утверждать, что человек и человекообразные обезьяны произошли от общих предков, ведущих древесный образ жизни. Такими общими предками человека и человекообразных обезьян считаются дриопитеки. От них одна ветвь эволюционного развития дала современных высших обезьян, а другая ветвь привела к появлению человека.

1. В чем заключаются особенности дриопитеков как предков человека?

2*. Охарактеризуйте отличия рамапитеков от ранних дриопитеков.

3. Укажите, что из перечисленного характеризует гоминидов:

а) волосяной покров тела;

б) передвижение на двух ногах;

в) противостоящий большой палец одной пары конечностей;

г) увеличенный головной мозг;

д) полудревесный образ жизни.

§ 45 Доказательства эволюционного происхождения человека

Эволюция человека, или **антропогенез** (от греч. *anthropos*— «человек» и *genesis*— «происхождение», «возникновение»), — это исторический процесс становления биологического вида *Человек разумный (Homo sapiens)*. Этот процесс качественно отличался от эволюции других видов организмов, так как в нем действовали не только биологические факторы (наследственная изменчивость, борьба за существование и естественный отбор), но и социальные (трудовая деятельность, общественный образ жизни, речь и мышление).

Происхождение человека — один из основных мировоззренческих вопросов с древнейших времен. Попытки понять и объяснить, как возник человек, находим в мифологии всех племен и народов. В легендах и сказаниях, отражающих представления людей о мире, всегда отмечалось, что человек сотворен некими сверхъестественными силами или каким-то божеством по своему образу и подобию.



Рис. 60. Бог Хнум на гончарном круге лепит из глины первых людей

Древние легенды возникновения первых людей всегда связывали с реальными природными и социально-экономическими условиями. Например, по мифологии жителей тропических стран, человек произошел из влажной земли при участии солнечного тепла. Северные народы считали своими предками оленя, медведя, а занимавшиеся рыбным промыслом полагали, что их род начинается от рыб и моржей. Туземцы Австралии, обитающие на территории жарких сухих пустынь, своими прародителями называют ящериц и птиц. В Древнем Египте верили, что бог Хнум вылепил первого человека из глины на гончарном круге (рис. 60).

Похожая легенда существовала и в Древней Греции. Бог Зевс из глины слепил первых людей, а богиня мудрости Афина одушевила людей, вдохнув в них жизнь. Как более поздний вариант этой легенды выступает библейское предание о появлении первого человека — Адама, которого Бог сотворил из «красной земли», т. е. из глины. Затем из ребра первого человека была создана первая женщина — Ева, а от Адама и Евы пошел весь род человеческий. Христианская церковь до сих пор очень ревностно сохраняет этот догмат о происхождении людей. Однако уже первые исследования морфофизиологических свойств человека убеждали естествоиспытателей в сходстве человека с высокоорганизованными существами животного мира, особенно с обезьянами.

С развитием науки накапливались факты, подтверждавшие сходство в строении организмов человека и животных. Эти взгляды укрепились, когда в начале XVII в. появились сообщения путешественников, встречавших в природе человекообразных

обезьян. К. Линней в системе живых форм впервые поместил человека в одну группу с приматами. Ж.Б. Ламарк тоже утверждал, что человек произошел от обезьяноподобных предков, перешедших от лазанья по деревьям к хождению по земле.

Опираясь на материалы сравнительной анатомии, эмбриологии и немногочисленные тогда данные палеонтологии, Ч. Дарвин убедительно доказал родство человека с человекообразными обезьянами и высказал принципиально важное положение: ни одна из ныне живущих обезьян не может считаться предком человека, а представляет собой как бы его «двоюродного брата».

Движущей силой эволюции человека как биологического вида Дарвин считал естественный отбор, который сформировал вертикальное положение тела, прямохождение и освобождение рук. Также большое значение в истории становления человека Дарвин придавал развитости нервной системы и общественному образу жизни людей. Однако, показав родство человека и человекообразных обезьян, наметив направление исторического развития человека, Дарвин не смог вскрыть ведущий фактор антропогенеза, а следовательно, и специфику эволюции человека.

Специфика антропогенеза заключается в действии социальных факторов: общественного образа жизни, трудовой деятельности, речи и мышления человека.

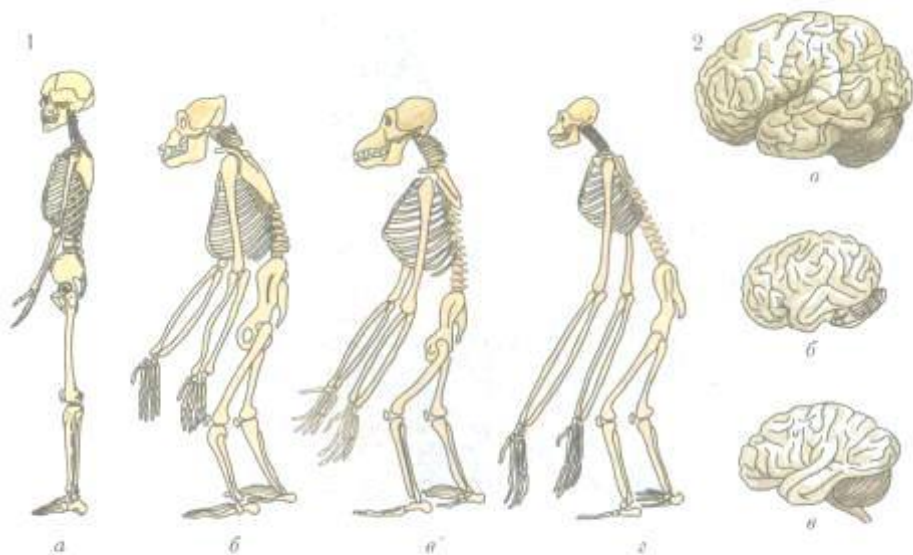


Рис. 61. Сходство человека и человекообразных обезьян: 1 — скелеты человека (а), гориллы (б), орангутана (в), гиббона (г); 2 — мозг человека (а), шимпанзе (б) и орангутана (в)

Когда Дарвин писал свой труд о происхождении человека, наука располагала еще очень малым количеством фактов об ископаемых предках человека. Позднее были собраны многочисленные доказательства происхождения человека от животных.

Так, в скелете человека и животных (скелет головы, туловища, конечностей) имеются одни и те же кости, хотя они различаются по форме и развитию (рис. 61).

Сходство наблюдается и во внутреннем строении, в развитии зародышей человека и животных. На ранних этапах развития зародыш человека трудно отличить от зародышей других позвоночных животных (рис. 62).

Доказательств происхождения человека от животных и конкретно родства с человекообразными обезьянами (антропоидами) много. Одних только *рудиментов* (лат. *rudimentum*— «зачаток», «первооснова») насчитывают более 90. Однако между человеком и человекообразными обезьянами имеются существенные различия.

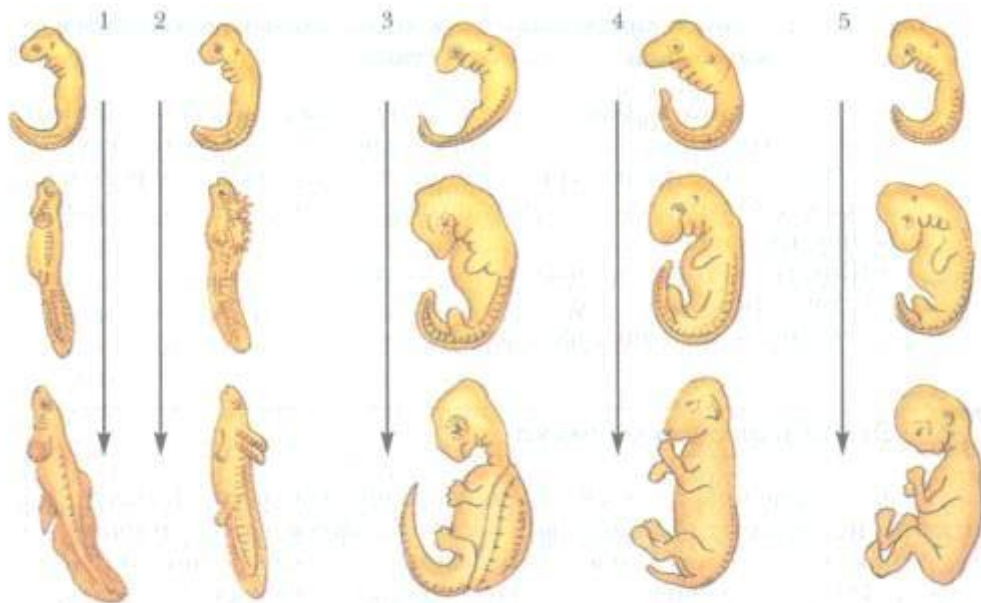


Рис. 62. Сходство стадий эмбрионального развития позвоночных: 1 — рыба; 2 — амфибия; 3 — рептилия; 4 — млекопитающее; 5 — человек

Важнейшие особенности организма человека обусловлены его прямохождением. Это отразилось в строении позвоночника (и позвонков), грудной клетки, таза, стопы, кисти, мускулатуры, расположении внутренних органов. Большие различия наблюдаются в строении черепа и мозга. У человека большая мозговая коробка и сравнительно малая лицевая часть черепа, на нижней челюсти имеется подбородочный выступ. У человекообразных обезьян, наоборот, крупная лицевая часть черепа с сильными челюстями, а мозговая часть небольшая. В этом отражаются отличительные *биологические свойства* вида *Человек разумный* (*Homo sapiens*).

Особенно глубокие качественные отличия человека от антропоидов заключаются в поведении и социальном (общественном) образе жизни людей. Специфической особенностью человека является его сознание, целенаправленное создание и применение орудий труда. С их помощью человек, изменяя условия существования, производит то, что ему необходимо для жизни. Так он ослабляет влияние внешней среды на организм и, следовательно, уменьшает воздействие естественного отбора. В этом отражаются отличительные *социальные свойства* вида *Человек разумный*.

Решающими факторами в формировании и развитии человека стали труд и трудовые отношения между членами общества, а также речь, которая обеспечивала общение между людьми. Под влиянием труда и речи улучшались и развивались сознание и мышление человека. Так по мере становления человечество смогло решать все более сложные задачи своего существования, а с помощью трудовой деятельности достигло в итоге значительной независимости от природы.

Антропогенез обусловил уникальность человека, выражающуюся в единстве его биологической и социальной сущности.

1. Укажите черты сходства человека и человекообразных обезьян.
2. Назовите особенности строения, присущие только человеку.
- 3*. В каждой строчке три термина взаимосвязаны определенным образом. Охарактеризуйте их и отметьте четвертый, не имеющий к ним отношения.
 - Шимпанзе, горилла, макака, орангутан.
 - Стопа, кисть, рука, лапа.
 - Труд, речь, сознание, раздражимость.

§ 46 Этапы эволюции человека

Непосредственным предшественником предков рода Человек (*Homo*) считаются ископаемые обезьянолюди — **австралопитеки** (от лат. *australis*— «южный» и греч. *pithecus*— «обезьяна»), обитавшие в Африке в период от 5 до 1 млн лет назад. Изучение найденных останков показало, что австралопитеки занимали промежуточное положение между обезьянами и человеком. Они уже обладали способностью к прямохождению, имели зубы, очень сходные с человеческими. Объем их головного мозга составлял 550 см^3 — больше, чем у обезьян, но гораздо меньше, чем у человека (рис. 63).

Ископаемые останки более поздних австралопитеков (например, гиперсильного австралопитека *Australopithecus boisei*), живших примерно 2,5 млн лет назад, показали, что это были уже двуногие существа, способные стоять и передвигаться подобно человеку. Вели стадный образ жизни.

Двуногость является выдающимся эволюционным преобразованием, возникшим вследствие обитания на равнинной местности или на краю леса.

Главным следствием прямохождения стало развитие сводчатой стопы и освобождение верхних конечностей для хватания, держания и применения примитивных орудий (палка, камень) при добыче пищи. Грудная клетка становится более широкой и уплощенной в спинно-брюшном направлении. Развитие хватательной кисти сопровождалось развитием мыслительной деятельности и



Рис. 63. Изменения черепа и объема мозга в ряду от человекообразной обезьяны до человека

увеличением размеров головного мозга.

Полагают, что австралопитеки начали использовать огонь, но еще не умели добывать его. В пищу употребляли кроме плодов, корней, зерен мясо мелких животных, падаль. Мясо стало частью их пищи. Для дробления костей и твердых плодов использовали не только камни и палки, но и специально заточенные камни (речную гальку). Австралопитеки широко расселились на равнинах Земли.

Из-за найденных галечных орудий с заточенными краями позднего австралопитека некоторые ученые называют *Человеком умелым (Homo habilis)*, полагая, что среди австралопитековых могли сформироваться первые представители рода *Номо*. Они на большом промежутке времени существовали одновременно с австралопитеками, что подтверждается находками в Кении и Танзании.

В эволюции человека (*Homo sapiens*) выделяют четыре стадии (считая австралопитека).

1. Стадия *предшественника (предчеловеки, или обезьянолюди, или австралопитеки)*. Это вымершие виды, описанные по многочисленным находкам ископаемых остатков скелета.

2. Стадия *архантропов (древнейшие люди — питекантроп и синантроп)*. Это вымершие виды рода *Номо* (Человек), о существовании которых говорят ископаемые остатки скелетов и примитивные орудия.

3. Стадия *палеоантропов (древние люди — неандертальцы)*. Это вымершие люди рода Человек, от которых до нашего времени дошли ископаемые остатки скелетов, орудия труда, наскальные рисунки, фрагменты жилищ и стоянок.

4. Стадия *неоантропов (новый человек — Человек разумный)*. Эта стадия включает ископаемые формы (*кроманьонец*) и ныне живущие формы современного человека.

Непосредственными предками человека и первой стадией его развития считаются *архантропы, или древнейшие люди*. Эта стадия представлена останками разных существ, найденными во многих географических районах Земли. Абсолютный возраст находок от 360 тыс. лет до 1,9 млн лет.

На острове Ява были найдены останки ископаемого существа, названного *питекантропом* (яванским человеком), около Пекина — останки существа, названного *синантропом* (китайским человеком). На территории Германии, у города Гейдельберг, найдены останки существа, названного *гейдельбергским человеком*. Сходные останки обнаружены в Алжире, Венгрии, в Марокко и других географических районах. Всех архантропов объединяют в один вид.

Архантропы, или древнейшие люди, ходили на двух ногах, имели прямой торс. Поэтому архантропа называют *Человеком выпрямленным (Homo erectus)*. Объем его головного мозга достигал в среднем 940 см³, рост — 150-170 см, вес — около 70 кг.

Архантропы жили в пещерах, использовали огонь, но еще не умели его самостоятельно добывать. Питались животной пищей, падалью. Охотились группами. Судя по объему мозга, архантропы могли иметь речь. Свободно пользовались руками. Изготовленные ими орудия были совершеннее, чем у австралопитеков. Вели первобытно-стадный образ жизни.

На этой стадии шло активное расселение архантропов по Земле, вплоть до холодных ее областей. Чтобы выдержать суровые зимы, потребовалась выработка особых форм поведения и технических навыков. Оказалось, что головной мозг *Homo erectus* позволял решать такие проблемы, как поддержание огня, изготовление одежды, разделка мяса, запасание пищи, совместное проживание в пещерах, коллективная охота.

От древнейшего человека (архантропа) произошел *древний человек* — *палеоантроп*.

Популяции *Homo erectus* были прямыми предками ранних представителей палеоантропов.

Представители *палеоантропов* — это *неандертальцы* (*Homo neanderthalensis*), существовали 150-35 тыс. лет назад. Время жизни неандертальцев совпало с периодом очередного наступления ледников. Они строили себе жилища, одевались в шкуры зверей, спасаясь от холода, из кремня изготавливали рубила, иглы, остроконечники и скребла, умели добывать огонь и использовать его для приготовления пищи. Объем их мозга достигал 1200-1600 см³, они владели жестикуляцией и слабораздельной речью, имели низкий скошенный лоб с надглазничным валиком, широкое лицо и крупные плоские зубы. Охотились коллективно на крупных животных. Вели первобытно-стадный образ жизни.

Среди неандертальцев выделяют две ветви. Одна — более поздняя (существовала 75-35 тыс. лет назад), с особями, характеризующимися могучей мускулатурой.

Другая — более ранняя (существовала 350-60 тыс. лет назад), с особями, характеризующимися менее сильной мускулатурой, более тонкими челюстями, высоким лбом, более выраженным подбородком, менее мощным физическим развитием, более редким волосяным покровом. От этой ранней ветви неандертальцев 120-60 тыс. лет назад возник новый вид — *Человек разумный* (*Homo sapiens*). Поздние неандертальцы оказались боковой ветвью эволюции.

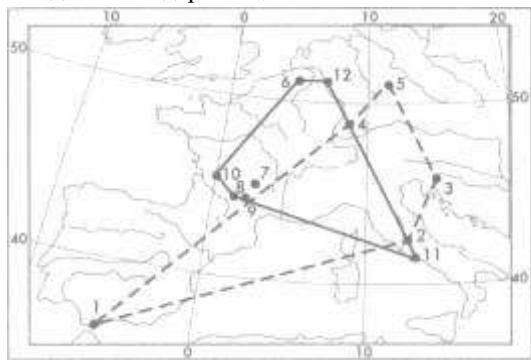


Рис. 64. Ареалы поздних (сплошная линия) и ранних (прерывистая линия) неандертальских форм на территории Европы. Границы ареалов очерчены по археологическим находкам

Неандертальцы внезапно исчезли 30-40 тыс. лет назад. Считают, что они были или частично истреблены людьми современного типа, или смешались с ними. Возможно, какое-то время все эти группы существовали одновременно (рис. 64).

1. Почему австралопитеки не относятся к роду Человек?
2. Назовите представителей группы архантропов.
- 3*. Почему Африку считают родиной эволюции человека?

§ 47 Первые и современные люди

Самые ранние представители неантропов получили название *кроманьонцы* из-за того, что их костные остатки (несколько скелетов) впервые были найдены в 1868 г. в пещере около селения Кро-Маньон во Франции. Более поздние неантропы — это *современные люди*, существующие и сейчас.

Обобщенное название людей современного вида, заменивших всех своих предшественников в период 40-30 тыс. лет назад, — **неоантропы**.

Ученые полагают, что *неоантроп*, или человек современного типа, возник в Восточном Средиземноморье, в Передней Азии и на юго-востоке Европы. Именно здесь были найдены многочисленные костные остатки промежуточных форм между неандертальцами и ранними ископаемыми формами *Человека разумного* — *кроманьонцами*. В те времена все эти территории были заняты густыми широколиственными лесами, богатыми разнообразной дичью, различными плодами (орехи, ягоды) и сочными травами. В этих условиях, полагают, и был совершен последний шаг на пути к *Человеку разумному*. Новый человек начал активно и широко расселяться по планете, совершая большие миграции по всем континентам Земли.

Кроманьонцы — это первые люди, т. е. непосредственные представители *Homo sapiens*. Они характеризовались достаточно высоким ростом (около 180 см), черепом с большой черепной коробкой (объемом около 1800 см³), наличием выраженного подбородка, прямого лба и отсутствием надбровных валиков (см. рис. 62). Присутствие подбородочного выступа на нижней челюсти свидетельствовало, что кроманьонцы были способны к членораздельной речи. Они строили постоянные жилища из камней или бивней и шкур мамонта. Жили родовым обществом.

Внешний облик кроманьонца ничем не отличался от облика современного человека.

Кроманьонец характеризовался значительным развитием отделов головного мозга, связанных с трудовой деятельностью, речью и ответственных за поведение в условиях общественной жизни. Наряду с каменными орудиями широко использовал кость и рог, из которых изготовлял иглы, сверла, наконечники для стрел и гарпунов. Объектами охоты были лошади, мамонты, носороги, олени, бизоны, песцы и многие другие животные. Кроманьонец занимался также рыбной ловлей и собирательством плодов, корней и трав. Обладал достаточно высокой культурой, о чем свидетельствуют не только орудия труда и предметы быта (умел выделывать кожу, шить одежду и строить жилье из шкур зверей), но и разнообразные рисунки на скалах, стенах пещер, каменные и костяные скульптуры, выполненные с большим мастерством (рис. 65).

К моменту появления *Homo sapiens* представителям рода *Homo* были свойственны уже почти все морфологические признаки, характерные для *Человека разумного*: прямохождение; развитие рук как органов трудовой деятельности; пропорциональная, более стройная фигура; отсутствие волосяного покрова. Увеличился рост, лицевая часть черепа уменьшилась, а мозговая часть стала очень большой. Произошло не только мощное наращивание массы головного мозга, но и его качественное изменение: большое развитие получили лобные доли мозга и зоны, связанные с речью, общественным поведением и сложной деятельностью.

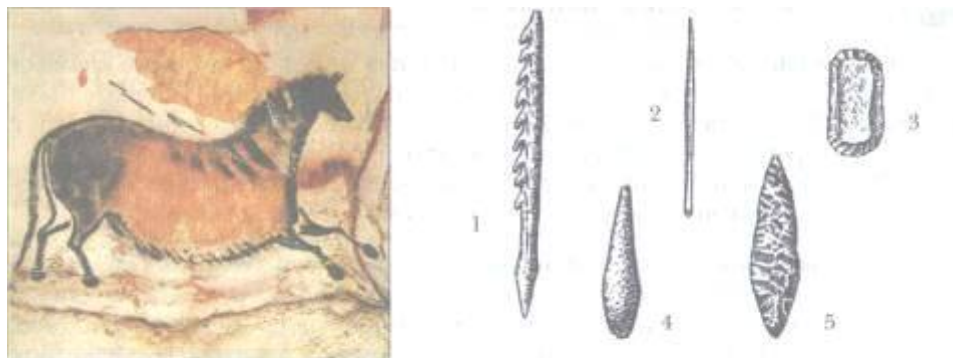


Рис. 65. Настенная живопись в пещере кроманьонца (слева) и его орудия труда: 1 – роговой гарпун; 2 – костяная игла; 3 – кремневый скребок; 4–5 – роговой и кремневый наконечники для дротика

Все эти преобразования не были чисто биологическими ароморфозами, как у других животных. Они во многом обусловлены созданием особой, культурной среды и сильнейшим действием *социальных факторов*. Среди них развитие общественного образа жизни и применение накопленного жизненного опыта предков; трудовая деятельность и создание руки органа труда; возникновение речи и использование слова как средства общения и воспитания человека; развитие мыслительных способностей, стимулирующих совершенствование труда и речи; использование огня, что помогало отпугивать зверей, защищаться от холода, готовить пищу, а также расселяться по земному шару. Социальный труд и изготовление орудий труда обеспечили особый, *человеческий* путь развития вида, отличающийся общественными (социальными) отношениями, разделением труда, возникновением на этой основе торговли, искусства, религии, науки и отраслей промышленного производства.

Появление человека — выдающееся событие в развитии живой природы.

Возникновение человека — это крупнейший ароморфоз в эволюции органического мира, по качеству не имеющий себе равного во всей истории Земли. Он характеризовался особыми закономерностями и специфическими особенностями, присущими только антропогенезу.

Возникновение неантропа произошло не путем простого накопления новых свойств у организма, а в тесном единстве с процессом становления *всего* человечества, причем социальное существование (совместная жизнь, общение, речь, труд, коллективная деятельность) выступало одним из существенных свойств антропогенеза. В этих условиях на Земле появилось качественно новое существо с *биосоциальными* свойствами, которое творчески преобразует мир с помощью своих умственных и культурных способностей и общественного производства. Вне общества немисливо становление Человека разумного как особого вида. Видовая устойчивость неантропа как раз и обусловлена «превращением» человека в представителя человечества.

Овладев культурой изготовления совершенных орудий, воспроизводством продуктов питания, устройством жилищ, созданием одежды, *Человек разумный*, в отличие от всех других видов организмов, стал особым, биосоциальным существом, обезопасил себя от неблагоприятных природных условий созданием особой — культурной среды. В результате этого отпала необходимость дальнейшей эволюции человека в направлении преобразования его в другой, более совершенный вид. Так прекратилась эволюция современного человека как биологического вида. Она продолжается лишь в пределах уже сформировавшегося вида (в основном по пути полиморфизма морфофизиологических признаков в разных группах и популяциях человека).

С возникновением человеческого общества на стадии *Homo sapiens* около 40 тыс. лет назад творческая роль естественного отбора утратила для человека свое значение.

1. Почему человека называют биосоциальным существом?
- 2*. Когда естественный отбор перестал быть ведущим фактором в эволюции человека?
3. Охарактеризуйте социальные факторы эволюции человека.
- 4*. Подумайте, можно ли назвать вид *Человек разумный* полиморфным?

§ 48 Человеческие расы, их родство и происхождение

Более столетия различные экспедиции антропологов работают в различных уголках земного шара, изучая многообразие форм человечества. Изучены племена в

самых труднодоступных районах (в тропических лесах, пустынях, на высокогорье, островах), и в результате современное человечество в морфологическом и физиологическом отношении исследовано, пожалуй, лучше, чем любой другой биологический вид. Исследования выявили исключительное разнообразие физических и генотипических особенностей человеческих популяций и их тонкую приспособленность к условиям жизни. Исследования показали также, что, хотя современное человечество принадлежит к одному единому виду *Homo sapiens*, этот вид является *полиморфным*, так как образует несколько различных внутривидовых групп, давно получивших название расы (рис. 66).

Раса (фр. *race*— «род», «порода», «племя») — это исторически сложившаяся внутривидовая группировка, состоящая из популяций *Человека разумного*, характеризующихся сходством морфофизиологических и психических свойств. Каждая раса отличается совокупностью наследственно обусловленных признаков. Среди них: цвет кожи, глаз, волос, особенности черепа и мягких частей лица, размеры тела, рост и др.

Внешние особенности строения тела человека были основными критериями подразделения человечества на расы.

Современное человечество разделяют на три основные расы: негроидную, монголоидную и европеидную.



Рис. 66. Типичные представители рас: негроид (а), монголоид (б), европеид (в).

Негроидная раса характеризуется темным цветом кожи, курчавыми, спирально закрученными волосами (на голове и теле), широким и мало выступающим носом, толстыми губами. К негроидной расе относятся негры Западной Африки, бушмены, пигмеи-негритосы, готтентоты, меланезийцы и аборигены Австралии. В негроидной расе выделяют две крупные ветви — африканскую и австралийскую. Группы австралийской ветви характеризуются, в отличие от африканской, волнистым типом волос.

Монголоидная раса отличается смуглой или светлой кожей, прямыми и достаточно жесткими волосами, уплощенной формой лица, заметными скулами, выступающими вперед губами, узкой глазной щелью, сильным развитием складки верхнего века и наличием эпикантуса, или «монгольской складки». Эпикантус — кожная складка в области угла глаза человека, прикрывающая слезный бугорок;

особенно сильно развит у детей и женщин и встречается чаще у женщин, чем у мужчин.

К монголоидной группе относится все коренное население Азии (за исключением Индии) и Америки. Как особая ветвь в монголоидной расе выделяются американоиды, т. е. коренное население Америки (от северных эскимосов до индейцев Огненной Земли). Они отличаются от азиатских монголоидов двумя признаками — значительным выступанием носа и отсутствием эпикантуса, что приближает их к европеоидам.

Европеоидная раса характеризуется светлой или смуглой кожей, прямыми или волнистыми мягкими волосами, узким выступающим носом, светлым (голубым) цветом глаз, тонкими губами, узкой и широкой головой. Европеоиды населяют Европу, Кавказ, Юго-Западную Азию, север Африки, Индию и входят в состав населения Америки.

Внутри каждой из рас выделяют малые расы, или подрасы. Например, в европеоидной выделяются атлантико-балтийская, индо-средиземноморская, среднеевропейская, балкано-кавказская и беломорско-балтийская. Внутри монголоидной — североазиатская, арктическая, дальневосточная, южноазиатская и американская. Также выделяется несколько подрас и внутри негроидной расы. Социальные факторы и особенности окружающей среды обусловили различия между расами и их подрасами в связи с расселением человека по земному шару.

Расовые особенности наследственны, но в настоящее время они не имеют существенного значения для жизнедеятельности человека. Поэтому сейчас представители различных рас часто проживают на одной и той же территории. Но в далеком прошлом, когда еще действие социальных факторов было невелико,

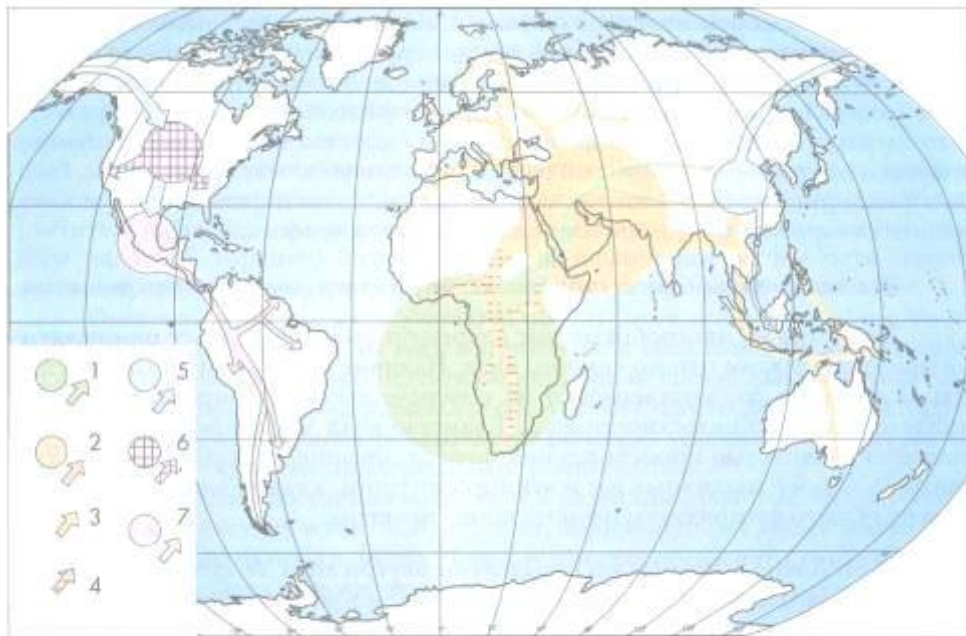


Рис. 67. Очаги расообразования и пути расселения рас: 1 — прародина человека и расселение из нее; 2 — очаг расообразования и расселение австралоидов; 3 — очаг расообразования и расселение европеоидов; 4 — очаг расообразования и расселение негроидов; 5 — очаг расообразования и расселение монголоидов; 6, 7 — очаги расообразования и расселение амери-

безусловно, многие признаки, характерные для той или иной расы, явились приспособлением к определенным физико-географическим и климатическим условиям внешней среды и были выработаны под действием естественного отбора.

Например, темная окраска кожи и волос у жителей экваториальных районов Земли возникла как защита от обжигающего действия ультрафиолетовых лучей солнца. У негров Африки сформировалась высокая удлиненная черепная коробка, которая обогревается меньше, чем круглая и низкая. Курчавые волосы, создающие вокруг головы воздухоносный слой, развились как защита от перегрева при действии жарких солнечных лучей; толстые губы, широкий нос и удлиненные пропорции тела при малом весе появились как способы увеличения поверхности тела, полезного для теплорегуляции (теплоотдачи) в жарком климате. Тип с более широкими относительно объема пропорциями тела развился в условиях климата со значительными отрицательными температурами. Плоское лицо монголоидов с мало выступающим носом оказалось полезным в условиях резко континентального климата и сильного ветра, к тому же гладкая обтекаемая поверхность меньше подвержена обморожению.

Многие морфологические признаки рас служат доказательством, что в расообразовании природная среда, ее абиотические и биотические факторы имели большое влияние. Как и у всего живого мира, у человека в период его становления внешние условия вызывали изменчивость и появление различных приспособительных свойств, а естественный отбор сохранял наиболее удачные варианты приспособленности. Адаптивные свойства у расы проявились не только во внешнем облике, но и в физиологии человека, например в составе крови, особенностях жировоголожения, активности обменных процессов.

Эти различия возникали в связи с расселением людей в новых местообитаниях. Считается, что *Человек разумный* сформировался у восточных берегов Средиземного моря и в Северо-Восточной Африке. Из этих районов первые кроманьонцы расселились в Южную Европу, по Южной и Восточной Азии вплоть до Австралии. Через северо-восточную оконечность Азии пришли в Америку — вначале на запад Северной Америки, откуда спустились в Южную Америку (рис. 67).

Расы начали формироваться в процессе заселения человеком разных территорий Земли около 40-70 тыс. лет назад, т. е. еще на стадии раннего кроманьонца. Тогда многие расовые признаки имели большое адаптивное значение и закреплялись естественным отбором в условиях определенной географической среды. Однако с развитием социальных отношений (общение, речь, совместная охота и др.), усилением действия социальных факторов влияние среды, как и давление естественного отбора, перестало быть для человека формообразующей силой. Несмотря на появление многочисленных расовых различий в морфологических и физиологических признаках, репродуктивной изоляции между расами людей не произошло. По интеллектуальному потенциалу и умственным способностям расы также не имеют различий.

Активное перемещение по планете и возникающие при этом совместные поселения многих людей на одних и тех же территориях показали, что обособленность человеческих рас, их морфологические, физиологические и психические отличия в результате смешанных браков уменьшаются и даже теряются. Это служит убедительным подтверждением единства вида *Человек разумный* и доказательством биологической равнозначности всех человеческих рас. Расовые различия касаются лишь признаков морфологии и физиологии, но они являются вариациями единой наследственности человека как вида.

Все человеческие расы стоят на одном биологическом уровне развития.

Несмотря на многообразие рас современного человека, все они являются представителями одного единого вида. Наличие плодовых браков между людьми разных рас подтверждает их генетическую неизолированность, что свидетельствует о целостности вида. Единство вида *Человек разумный* обеспечивается общностью происхождения, неограниченной способностью к скрещиванию людей различных рас и этнических групп, а также одинаковым уровнем их общего физического и умственного развития.

1. Какие основные расы выделяют внутри вида *Человек разумный*?
2. Что лежит в основе формирования человеческих рас?
- 3*. Подумайте.
 - Как расселение по Земле влияло на формирование человеческих рас?
 - Можно ли назвать вид *Человек разумный* полиморфным?

§ 49 Человек как житель биосферы и его влияние на природу Земли

Развитие природы в истории Земли на протяжении всего периода антропогенеза происходило при возрастающем влиянии на нее человеческого общества.

Эволюция человека связана с принципиально новой формой внутрипопуляционных связей. Постоянные контакты между особями, развитие членораздельной речи и, следовательно, мышления обеспечили нашим предкам возможность, пользуясь словом, обмениваться опытом, планировать предстоящие действия на охоте или при перемещении в новые места, обучать полезным навыкам подрастающие поколения. Все это привело к созданию и применению более совершенных и эффективных орудий труда для обеспечения человеческих потребностей, что имело большое значение не только для психического развития человека, но и для освоения им природной среды.

На протяжении значительного периода своей эволюционной истории люди были кочевыми охотниками и собирателями. Чтобы прокормиться, они убивали диких зверей и собирали различные растения. Объединяясь в группы, люди могли охотиться на крупных животных или устраивать им западни. Добытое мясо стали заготавливать (закапывать или замораживать), сохранять собранные орехи, зерна, коренья и ягоды, чтобы потом в голодное время или зимой использовать в пищу.

Овладение огнем позволило обогатить и улучшить питание (копчение мяса для более длительного хранения, удаление ядовитых веществ при варке растительной массы; разваренные мясо и растения становились мягче, что облегчало пищеварение). Это отразилось на увеличении численности людей, а также позволило расширить территорию расселения людей по планете.

Организмы любого вида являются обитателями природных биогеноценозов. Человек, в отличие от всех организмов, в силу своей биосоциальной сущности и благодаря созданию особой культурной среды, вышел из-под контроля естественного отбора и оказался способным существовать на всей территории планеты, в различных физико-географических условиях, т. е. стал *жителем биосферы*, ее существенным реальным компонентом.

Человеческие поселения появились в различных районах земного шара вплоть до арктических и высокогорных, но особенно много людей живет в зонах теплого и умеренного климата. Повсюду в местах поселений стало заметным влияние человека на окружающую среду и на развитие всех частей биосферы. Результатом этого

воздействия человека явилось изменение видового состава животного и растительного мира. Потребительское отношение к окружающей среде нарушило природные условия, места обитания организмов и привело к исчезновению многих видов. В частности, уничтожены такие крупные животные, как *саблезубый тигр*, *пещерный медведь*, *шерстистый носорог*, *гигантский наземный ленивец*, *гигантский динорнис* (рис. 68).



Рис. 68. Гигантский динорнис из отряда бескилевых птиц мого, обитавших в лесах Новой Зеландии и исчезнувших около 250 лет назад из-за неумеренной охоты на них народа маори

Увеличение численности *Человека разумного*, а также некоторое сокращение пищевых ресурсов обусловили во взаимоотношениях человека со средой новый, огромный по силе воздействия на природу этап — приручение животных и окультуривание растений. Это произошло во многих частях земного шара. Приручение человеком первых животных датируется каменным веком (около 1 млн лет назад). Немного позже, в том же каменном веке, началось окультуривание ряда видов растений.

Приручение и одомашнивание животных, а потом и их разведение изменили многие природные процессы окружающей среды. Еще более сильное воздействие на биосферу оказали переход к оседлому сельскому хозяйству и особенно развитие земледелия (началось 12-10 тыс. лет назад).

Земледелие в эволюции человека имело огромное положительное значение, так как дало ему надежный способ обеспечения питанием.

Появился принципиально новый, социальный способ обеспечения человечества пищей — производство продовольствия.

Вместе с тем с развитием земледелия и скотоводства на Земле началось активное разрушение естественных природных сообществ, ускорилась гибель многих видов. Производимые человеком распахка земель, создание новых культурных пород животных и сортов растений, перемещение видов привели к появлению огромной армии сорняков, вредителей, возбудителей заболеваний и паразитов, поражающих домашний скот и культурные растения и таким путем конкурирующих с человеком за пищу.

Переход от охоты и собирательства к оседлому сельскому хозяйству из-за огромной значимости этого события в жизни человека и природы часто называют сельскохозяйственной революцией.

Сельскохозяйственная революция, считающаяся наиболее крупным событием для человека в овладении им средой обитания, незамедлительно откликнулась ускорением развития человечества и его культуры. Началось освоение различных типов топлива, применение машин, использование транспорта, создание крупных поселений, а затем и городов. Все это сопровождалось огромными преобразованиями в природе.

Например, за 5 тыс. лет до н. э. в Юго-Западной Азии появились первые оросительные системы. Также за много столетий до нашей эры цивилизация майя создала судоходные каналы. В Месопотамии, Древнем Египте, Шумере, Китае, Индии за 7-5 тыс. лет до н. э. уже были многонаселенные крупные города с большими пригородными сельскохозяйственными зонами.

Освоение ископаемых видов энергии (каменного угля, нефти, газа), изобретение парового двигателя, применение механизированного транспорта, различных машин и другие преобразования производительных сил, получившие широкий размах в последние 200-300 лет, называют *промышленной революцией*. Этот технический прогресс оказал огромное влияние на все стороны жизни человечества, но в то же время вызвал массированное воздействие на биосферу. Ускорила эрозия почв, произошли изменения климата, исчезли многие виды организмов, ухудшились пастбища, истощились возобновляемые и невозобновляемые природные запасы.

Известный философ и натуралист Ф. Энгельс еще в середине XIX в. в книге «Диалектика природы» писал: «Какое было дело испанским плантаторам на Кубе, выжигавшим леса на склонах гор и получавшим в золе от пожара удобрение, которого едва хватало на одно поколение доходных кофейных деревьев, — какое им было дело до того, что тропические ливни потом смывали беззащитный отныне верхний слой, оставляя после себя лишь обнаженные скалы!»

Двадцатый век характеризовался неизмеримым по своей мощности и скорости нарастания влиянием на природу человека, захваченного безудержным стремлением к комфортности своего существования. Достигнутые успехи в экономической жизни общества во второй половине XX в. были названы *научно-технической революцией* (НТР). Однако достижения НТР, связанные с надеждами подчинить силы природы, лишь на короткий срок были восприняты с оптимизмом, так как очень скоро обнаружилось существенное нарушение равновесия в окружающей среде и в биосфере в целом, вызванное результатами человеческой деятельности. Оно проявилось как в истощении природных ресурсов, так и в состоянии здоровья самого человека. Загрязнение окружающей среды, энергетический кризис, глобальные катастрофы (взрыв на Чернобыльской АЭС) поставили человечество перед проблемой спасения природы и самой жизни.

В наше время главная задача человечества — сохранение жизни на Земле.

Стремлением людей предотвратить надвигающуюся экологическую катастрофу объясняется внимание к экологии как научной основе рационального природопользования, сохранения устойчивого развития природы и человечества.

1. Объясните, почему на ранних этапах истории человечества воздействие людей на природу не было губительным для нее.
2. Подумайте.
 - Каким должен быть характер отношений человека и природы, чтобы сохранить устойчивое развитие жизни?
 - Что вы лично можете сделать для защиты живой природы и окружающей среды?

Краткое содержание главы

Вид *Человек разумный* (*Homo sapiens*) в результате биологической эволюции отделился от одной из ветвей отряда приматов. Особенности человека, отличающие его от животных, не возникли сразу и одновременно, а явились результатом длительного процесса — антропогенеза, продолжающегося многие тысячи лет.

Например, развитие прямохождения и руки как органа труда началось еще на стадии австралопитека (стадия предчеловека), а сформировалось окончательно лишь на стадии неандертальца и кроманьонца, т. е. на стадии рода Человек. Так же длительно шло увеличение и усложнение головного мозга человека.

В процессе расселения по земному шару, приспосабливаясь к условиям окружающей среды, вид *Человек разумный* стал полиморфным. У вида сформировалось несколько адаптивных рас. Они различаются в основном морфологическими признаками без репродуктивной изолированности. Это свидетельствует, что все расы — части единого целостного вида *Homo sapiens*. В расовых свойствах проявляется биологическая сущность человека, принадлежность его к миру живой природы, где действуют биологические законы. Но человек качественно отличается от всех других организмов на Земле. Отличие — в принадлежности человека к обществу, где действуют общественные (социальные) законы. Такая двойственность свойственна только человеку, представляющему единственный на нашей планете биосоциальный вид.

Проверьте себя

1. Охарактеризуйте этапы антропогенеза.
2. Какое значение в происхождении человека имело прямохождение?
3. В каких районах Земли произошло появление рода Человек?
4. Когда и как естественный отбор действовал в эволюции человека?
5. Почему человека называют жителем биосферы?

Проблемы для обсуждения

1. Почему биологические эволюционные факторы постепенно теряют свое значение в антропогенезе?
2. В чем заключается различие действия естественного отбора при видообразовании и расообразовании?
3. Эволюция рода Человек показывает, что человечество до сих пор успешно справлялось с возникавшими в ходе этого процесса задачами (прямохождение, расселение, добыча пищи, обеспечение энергией, жизнь в условиях ледникового периода и др.). Сможет ли *Человек разумный* справиться с современными глобальными экологическими проблемами?

Основные понятия

Антропогенез. Австралопитек. Архантроп. Палеоантроп. Неоантроп. Кроманьонец. Человек разумный (Homo sapiens). Раса. Биосоциальная сущность человека.

Глава 9

Основы экологии

Изучив главу, вы сумеете:

- охарактеризовать особенности четырех сред жизни;
- раскрыть закономерности действия экологических факторов в природе;
- объяснить, почему большинство популяций из года в год сохраняют примерно постоянную численность;
- доказать преимущество многообразия видов в природных экосистемах;
- осознать суть основных законов устойчивости живой природы и «правила 10 процентов».

§ 50 Условия жизни на Земле. Среды жизни и экологические факторы

Жизнь на Земле существует повсюду, кроме жерл действующих вулканов. Все, что окружает живой организм, называют его *средой обитания*. Изучением взаимодействия организмов с окружающей средой занимается наука *экология* (от греч. *oikos* — «жилище», «местопребывание» и *logos* — «слово», «учение»).

Каждое живое существо тесно связано со своей средой обитания, испытывает ее влияние и в свою очередь на нее воздействует. Все свойства среды, влиянию которых подвергаются организмы, называют *экологическими факторами*. Их можно оценить и измерить.

Экологические факторы подразделяют на *абиотические* и *биотические*.

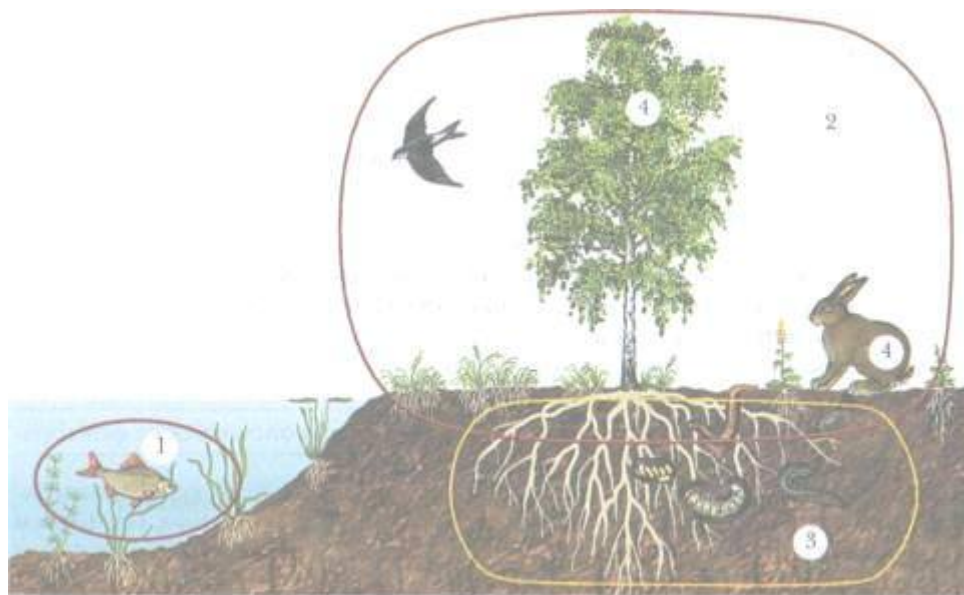


Рис. 69. Среды жизни на Земле: 1 — водная; 2 — наземно-воздушная; 3 — почвенная; 4 — организменная

Абиотические факторы имеют физико-химическую природу. Это свет, температура, влажность воздуха, количество и состав солей в воде, давление, ветер и т. п. Биотические факторы — все прямые и косвенные воздействия организмов друг на друга и среду обитания. Организмы живут в окружении других видов, испытывают влияние хищников, паразитов, конкурентов, взаимодействуют с представителями своего вида, вступая во множество положительных и отрицательных связей.

В современном мире практически вся живая природа испытывает сильнейшее влияние человеческой деятельности. Часто это влияние намного перекрывает действие природных факторов. Поэтому, кроме абиотических и биотических, отдельно выделяют и рассматривают *антропогенные факторы*. К ним относятся всевозможные формы воздействия человека на другие виды и на условия их жизни. Такие воздействия могут специально предусматриваться человеком или выступать как непредвиденные и случайные.

На Земле выделяют четыре основные *среды жизни*, сильно различающиеся по свойствам и силе действия отдельных факторов: водную, наземно-воздушную, почвенную и организменную (тела других организмов) (рис. 69).

В зависимости от того, в каких средах живут представители разных видов, они испытывают действие разных экологических факторов и вынуждены приспосабливаться к ним.

Водная среда — это Мировой океан, континентальные водоемы и подземные воды. Разнообразием комплекса условий в разных водах объясняются свойства населяющих их организмов — *гидробионтов* (от греч. *hydor*— «вода» и *biontos*— «живущий»).

Условия жизни в этой среде определяются химическими и физическими свойствами воды: ее плотностью, большой теплоемкостью, высокой теплопроводностью, растворенными солями и газами, сильным поглощением света. Температурные колебания в водной среде обычно невелики из-за высокой теплоемкости воды, что облегчает жизнь ее обитателей.

Одна из сложностей жизни в водоемах — низкое содержание кислорода. В литре воды его растворяется не более 10 мл, т. е. содержится в 21 раз меньше, чем в воздухе. С повышением температуры и загрязнением воды содержание кислорода сильно падает, поэтому в водоемах могут возникать заморы — массовая гибель рыб и беспозвоночных от удушья. Из-за сильного поглощения водой солнечных лучей фотосинтез у растений может происходить только в ее верхних слоях. Даже в самых чистых водах водоросли обычно не живут глубже 150–200 м, тогда как животные обитают и на самых больших глубинах, где вечный мрак.

Наземно-воздушная среда — самая сложная для жизни. Это среда контрастов: резких колебаний температур, смены погодных условий, неравномерного распределения света и влаги. Отличается обилием воздуха, поэтому организмы, живущие здесь, называются *аэробийонтами* (греч. *Aer* — «воздух»).

Низкая плотность воздуха плохо поддерживает тело, поэтому наземно-воздушную среду освоили только те группы организмов, которые выработали хорошую скелетную опору (высшие растения, позвоночные, насекомые). Зато эта среда отличается высоким содержанием кислорода и интенсивными потоками солнечного света. Здесь создаются возможности для интенсивного обмена веществ и развития богатой растительности. В наземно-воздушной среде возможно существование как влаго-, так и сухолюбивых видов, как холодо-, так и теплолюбивых, в зависимости от конкретных районов Земли. Значимыми экологическими факторами этой среды являются дожди, снеговой покров, ветер, характер грунта и другие, что создает большое разнообразие условий для живых организмов в разных районах земного шара.

Наземно-воздушная среда по своим физико-химическим условиям считается достаточно суровой по отношению ко всему живому. И все же, несмотря на

суровость условий, жизнь на суше достигла очень высокого уровня как по общей массе органического вещества, так и по разнообразию проявления свойств живой материи.

Почвенная среда представляет собой рыхлый поверхностный слой, переработанный деятельностью живых существ и климатических факторов. Эта особая среда обитания пронизана порами, содержащими и влагу, и воздух. В нее постоянно поступают отмершая растительная масса, и трупы мелких и крупных животных, и всевозможные выделения живых организмов, что является богатым энергетическим источником для почвенных организмов. Поэтому почвенная среда населена множеством видов бактерий, грибов, водорослей, животных. Она пронизана также корнями растений. Почвенный воздух всегда насыщен водяными парами, так что обитателям почвы не грозит высыхание. С глубиной уменьшается размах колебаний температуры, летом в почве прохладнее, а зимой — теплее, чем на поверхности.

Виды, населяющие почвенную среду, называют *эдафобионтами* (греч. *edaphos* — «почва»).

Организменная среда — это сами живые организмы. Они используются другими видами и как место жизни, и как источник пищевых ресурсов. Организмы, населяющие живые существа, называют *эндобионтами* (греч. *endon* — «внутри»). Паразиты, осваивающие тело хозяина, живут в условиях неограниченного запаса пищи и защищены от факторов внешней среды. Однако они должны преодолевать защитные реакции хозяина. Кроме того, создаются большие трудности перехода паразита от одного хозяина к другому, осуществляемого или через внешнюю среду, или через промежуточных хозяев.

Многие виды живут в других организмах не как паразиты, а как полезные сожители — *симбионты*. Например, ряд бактерий и одноклеточных простейших обитают в пищеварительном тракте травоядных животных, помогая им переваривать клетчатку и находя в хозяине источник пищи и защиту. Есть среди них и хищники, поедающие бактерий и инфузорий (рис. 70).

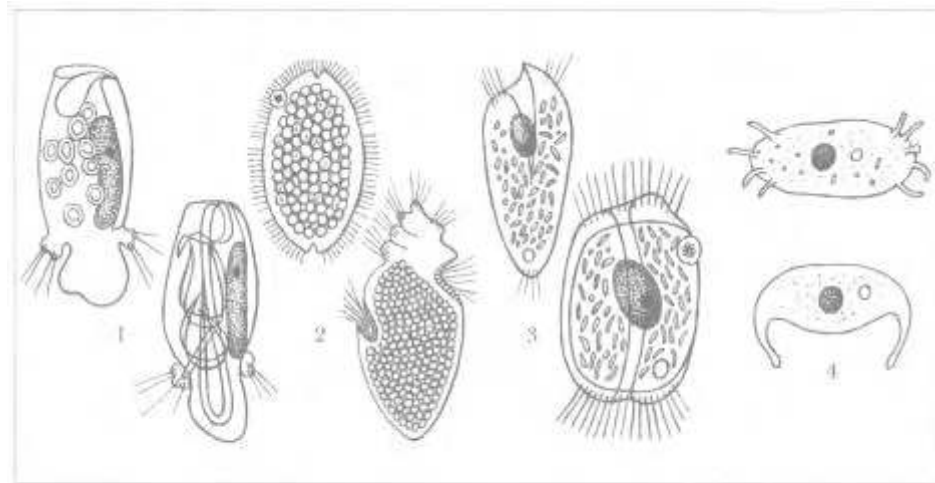


Рис. 70. Инфузории-эндобионты из кишечника кулана: 1, 2 — инфузории, питающиеся растительным кормом хозяина (в их теле видны растительные клетки и крахмальные зерна); 3 — инфузория, поедающая бактерий; 4 — инфузория, активно поедающая других инфузорий

1. В каких средах жизни обитают растения, грибы, животные?
2. Почему наземно-воздушная среда характеризуется наибольшим разнообразием форм организмов?
- 3*. Подумайте, к какой группе экологических факторов вы отнесете пожар в лесу.
- 4*. Понаблюдайте, как антропогенные факторы проявляются в жизни серой вороны.

§ 51 Общие законы действия факторов среды на организмы

Многие экологические беды возникают из-за неосознанного нарушения человеком самых элементарных природных законов. Эти законы отражают разнообразные стороны действия факторов среды на организмы. Факторов среды — великое множество, и представители разных видов реагируют на них по-разному, однако можно выявить ряд общих законов действия факторов среды на организмы.

Закон оптимума (лат. *optimum* — «наилучшее») отражает реакцию видов на изменение силы действия любого фактора. Есть определенные границы действия каждого фактора, в пределах которых жизнеспособность организмов возрастает. Это *зона оптимума*. При отклонениях от данной зоны в сторону уменьшения или увеличения силы воздействия фактора жизнеспособность организмов падает. Это *зона угнетения*, или *пессимума* (лат. *pessimus* — «очень плохой»). Если действие фактора выходит за определенные, минимально или максимально возможные для вида пределы, организмы погибают. Губительное значение фактора называют *критической точкой* (рис. 71).

Закон оптимума имеет большое практическое значение. Нет всецело положительных или отрицательных факторов, все зависит от их дозировки. Все формы влияния среды на организмы имеют сугубо количественное выражение. Чтобы управлять жизнедеятельностью вида, следует прежде всего не допускать выхода различных экологических факторов за их критические значения и стараться выдерживать зону оптимума. Это очень важно для растениеводства, животноводства, лесного хозяйства и вообще всех областей взаимоотношений человека с живой природой. Это же правило относится и к самому человеку, особенно в области



Рис. 71. Схема действия факторов среды на организмы (к. т. — критическая точка)

медицины.

Использование закона оптимума осложняется тем, что для каждого вида оптимальные дозировки факторов различны. То, что хорошо для одного вида, может быть пессимумом или выходить за критические пределы для другого. Например, при температуре 20° С тропическая обезьяна дрожит от холода, а северный обитатель — песец — изнывает от жары. Бабочки зимней пяденицы еще порхают в ноябре (при температуре 6°С), когда большинство других насекомых впадают в оцепенение. Рис выращивают на полях, залитых водой, а пшеница в таких условиях вымокает и погибает.

Закон экологической индивидуальности видов отражает многообразие отношений организмов со средой. Он свидетельствует, что в природе нет двух видов с полным совпадением оптимумов (ОПТ) и критических точек по отношению к набору факторов среды. Если виды совпадают по устойчивости к одному фактору, то обязательно разойдутся по устойчивости к другому (рис. 72).

Виды с узким диапазоном устойчивости относят к разряду специализированных. Обычно они живут в таких условиях, где факторы среды варьируют очень слабо. Например, глубоководные рыбы — при постоянной температуре воды, степные растения — при постоянной яркой освещенности. Виды с широким диапазоном устойчивости способны жить в условиях, где факторы среды варьируют очень сильно.

Незнание закона экологической индивидуальности видов, например в сельскохозяйственном производстве, может привести к гибели организмов. При использовании минеральных или недостаточно переработанных органических удобрений, ядохимикатов эти вещества часто вносят в избыточных количествах, не считаясь с индивидуальными потребностями растений.

Закон ограничивающего фактора тесно связан с законом оптимума и вытекает из него. В окружающей среде нет всецело отрицательных или положительных факторов: все зависит от силы их действия. На живые существа одновременно действует множество факторов, и к тому же большинство из них переменчиво. Но в каждый конкретный период времени можно выделить самый главный фактор, от которого в наибольшей мере зависит жизнь. Им оказывается тот фактор среды, который сильнее всего отклоняется от оптимума, т. е. ограничивает жизнедеятельность организмов в данный период.

Любой фактор, влияющий на организмы, может стать либо оптимальным, либо ограничивающим в зависимости от силы своего воздействия.

Закон совместного действия факторов гласит: результат влияния любого

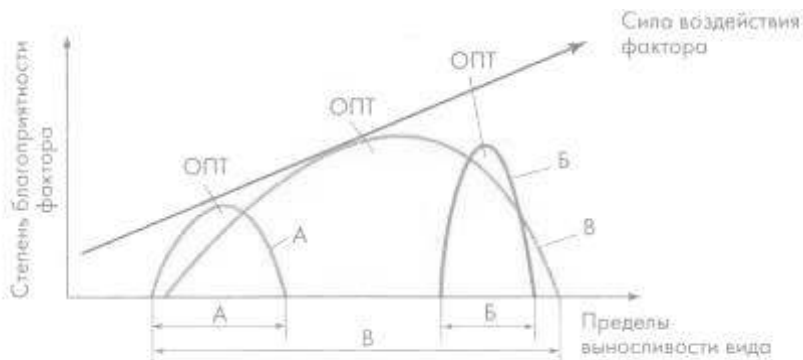


Рис. 72. Схема проявления свойств организмов в зависимости от силы действия фактора

экологического фактора на жизнедеятельность организмов во многом зависит от того, в какой комбинации и с какой силой действуют в данный момент другие.

Так, каждый знает, что переносить мороз в безветренную погоду значительно легче, чем при сильном ветре. Влияние 30-градусной жары значительно сильнее при высокой влажности воздуха, чем в сухую погоду, и т. п. Поэтому, если нет возможности изменить ограничивающий фактор, часто можно добиться смягчения его действия, изменяя другие. В сельском хозяйстве эти приемы входят в нормы агротехники. Например, добавочное рыхление почвы снижает испарение почвенной влаги, так как нарушает сеть мелких пор, из которых испаряется влага.

Закон незаменимости факторов свидетельствует, что полностью заменить один фактор другим нельзя. Но нередко при комплексном воздействии факторов можно видеть *эффект замещения*. Например, свет не может быть заменен избытком тепла или углекислого газа, но, действуя изменениями температуры, можно усилить фотосинтез у растений. Однако это не замещение одного фактора другим, а проявление сходного биологического эффекта, вызванного изменениями количественных показателей совместного действия факторов. Это явление широко используется в сельском хозяйстве. Например, в теплицах для получения продукции создают повышенное содержание углекислого газа и влаги в воздухе, подогрев и тем отчасти компенсируют нехватку света в осеннее и зимнее время.

В действии экологических факторов на планете наблюдается *периодичность*, связанная со временем суток, сезонами года, морскими приливами и фазами Луны. Эта периодичность обусловлена космическими причинами — движением Земли вокруг своей оси, вокруг Солнца и взаимодействием с Луной. Жизнь на Земле приспособлена к этой постоянно существующей ритмике, что проявляется в изменениях состояния и поведения организмов.

Вегетация растений, листопад, зимний покой, размножение животных, их миграции, спячки, нагуливание жиров — примеры явлений, обусловленных сезоном года. Сменой дня и ночи вызываются изменения активности у животных, скорости фотосинтеза у растений и т. п.

Приспособленность к периодическим изменениям внешней среды выражается не только в непосредственной реакции на изменение ряда факторов, но и в наследственно закрепленных внутренних суточных и сезонных ритмах.

Внутренние сезонные ритмы перестраиваются с большим трудом и зачастую лишь через несколько поколений. Например, животные Южного полушария, перевезенные в наши зоопарки, размножаются обычно осенью, под зиму, когда на их родине весна.

В сезонных перестройках жизнедеятельности у большинства видов важное значение имеет длина светового дня, т. е. соотношение светлого и темного периодов суток. Реакцию организмов на изменение длины дня называют *фотопериодизмом* (от греч. *photos* — «свет» и *periodos* — «круговорот», «чередование»).

Длина светового дня является единственным точным *сигналом* приближения зимы или весны, т. е. изменения всего комплекса факторов внешней среды. Погодные же условия обманчивы. Поэтому растения, например, реагируя на длину дня, не распускают листву в зимние оттепели и не переходят к листопаду при краткосрочных летних заморозках. Зацветают растения тоже при определенной длине дня. Цветение растений является одним из проявлений фотопериодизма. С этим часто сталкиваются растениеводы. Поэтому среди растений важно различать короткодневные и длиннодневные виды или сорта. Длиннодневные растения распространены в основном в умеренных и приполярных широтах, а короткодневные — в областях ближе к экватору.

Способность воспринимать длину дня и реагировать на нее особенно широко проявляется в животном мире. У животных фотопериодизм контролирует плодovitость, сроки брачного периода, миграции, переход к зимней спячке.

В явлениях фотопериодизма выражается не непосредственное действие фактора света на организмы, а его *сигнальное* значение. Соотношение светлого и темного периодов суток в разные сезоны года как сигнальный фактор предупреждает о предстоящих изменениях в природе, подготовка к которым требует времени. Поэтому необходимые физиологические перестройки у животных и растений успевают совершиться заранее.

1. Что такое сигнальный фактор? Чем он отличается от других абиотических факторов среды?

2*. Относится ли закон оптимума к ядам и лекарствам, действующим на организм человека?

3. Замените выделенные слова утверждений термином.

- *Способность воспринимать длину дня и реагировать на нее* — явление, широко распространенное в растительном и животном мире.

- *Определенные границы действия каждого фактора* — это пределы, в которых жизнеспособность организма реализуется лучше.

§ 52 Приспособленность организмов к действиям факторов среды

Приспособлениями, или адаптациями, называют любые признаки и свойства организмов, повышающие их шансы на выживание во внешней среде. Адаптации создаются и поддерживаются в ходе эволюции видов, на основе их изменчивости, через естественный отбор. Все существующие виды прошли этот отбор и, следовательно, обладают необходимыми адаптациями к условиям своего обитания. В неживой природе действуют физико-химические законы, которые определяют направления возможных приспособлений для живых организмов.

Рассмотрим эти возможности на примере *планктона* (греч. *planktos* — «блуждающий») — организмов, взвешенных в толще водной среды.

Вести планктонный образ жизни в воде возможно лишь в том случае, если силы, удерживающие организм на плаву, оказываются равны его весу. Против силы тяжести действуют выталкивающая сила (по закону Архимеда) и силы сцепления частиц воды с поверхностью тела. Следовательно, любые способы облегчения веса и увеличения поверхности тела будут благоприятствовать планктонному образу жизни. У одних видов это достигается очень мелкими размерами, у других — разнообразными выростами, щетинами, складками, у третьих — насыщением клеток каплями жира или наличием газовых полостей, уменьшающих удельный вес (рис. 73).

В отличие от планктонных, активно и быстро плавающие виды, напротив, выработали в эволюции сходную форму, которую называют торпедовидной. По законам гидродинамики быстро движущееся в воде тело может успешно преодолеть лобовое сопротивление лишь при определенных пропорциях (примерном отношении длины к наибольшему диаметру как 5:1). Именно такие пропорции свойственны и дельфинам, и акулам, и рыбам-тунцам, и кальмарам, и древним ихтиозаврам.

Внешнее сходство организмов отражает не родство видов, а сходные черты образа жизни. В одинаковой среде обитания образуются сходные приспособительные формы. Например, деревья, кустарники, кустарнички, разно-



Рис. 73. Морской планктон: 1-2 — ракообразные и их личинки; 3 — икра рыбы; 4 — личинки моллюсков; 5 — инфузории; 6 — диатомовые водоросли; 7 — перидини; 8 — почесветка; 9 — аппендикулярия

образные травы — формы, возникшие у разных видов растений при сходном использовании среды.

Морфологические адаптации наиболее наглядны. По внешнему облику разных видов животных и растений можно понять, не только в какой среде они обитают, но и какой образ жизни в ней ведут.

Например, все позвоночные животные, ведущие подземный образ жизни, имеют компактное тело с короткой шеей и коротким хвостом, слабо развитые глаза и ушные раковины, короткий, как бы подстриженный мех, роют землю либо передними конечностями с мощной мускулатурой и сильными когтями, либо выступающими, как долото, резцами. Таковы кроты, цокоры, слепыши и другие виды. Роющее насекомое медведка также внешне напоминает маленького крота. Растения лианы имеют стебли с различными приспособлениями — крючьями, усиками или присосками, позволяющими им цепляться за прямостоячие стебли других видов и выносить свои листья к свету. Формы лиан есть и среди травянистых, и среди древесных растений, представляющих виды из разных семейств.

Экологические адаптации выражаются не только во внешних признаках вида, но и в изменениях физиологических процессов, в характере поведения, в жизненных циклах, а также во внутриклеточных биохимических превращениях и распространении.

Своеобразие внешнего строения, отражающее приспособления вида к определенному образу жизни в среде обитания, называют *жизненной формой*.

Жизненная форма вырабатывается в ходе эволюционного становления вида, а ее проявление у особей обусловлено генотипом и нормой реакции. Разные виды могут иметь сходную жизненную форму, если ведут сходный образ жизни.

В то же время есть виды, особи которых на разных стадиях индивидуального развития могут быть в разных жизненных формах. Это особенно часто встречается у животных, развитие которых идет с метаморфозом (головастик и лягушка, личинка и взрослая особь угря, гусеница и бабочка). У растений жизненная форма может быть разной в зависимости от условий, в которых произрастает. Например, береза пушистая, рябина обыкновенная в лесах умеренного климата развивают форму одноствольного дерева, а, вырастая в лесотундровых и тундровых сообществах, они приобретают многоствольную, кустарниковую жизненную форму.

В экологии виды классифицируют не по родству, а по способам и формам адаптаций к окружающей среде или к определенным факторам этой среды. Жизненные формы отражают классификацию по приспособительным свойствам

организмов ко всему комплексу абиотических и биотических факторов внешней среды.

По отношению к какому-либо одному господствующему фактору среды (к свету, температуре или воде, типу пищи и др.) выделяют *экологические группы*. Различают экологические группы по отношению к свету (светлюбивые, тенелюбивые и теневыносливые), к температуре (теплолюбивые, жаростойкие, холодолюбивые), к воде (влаголюбивые, засухоустойчивые и др.).

По изменчивости температуры тела выделяют *пойкилотермные* и *гомойотермные* группы организмов. У пойкилотермных организмов внутренняя температура тела следует за изменениями температуры среды. Скорость обмена веществ у них то возрастает, то понижается. Таких видов — большинство на Земле. Гомойотермных только две группы живых существ — млекопитающие и птицы. Они способны поддерживать постоянную температуру тела при любых условиях среды. Их обмен веществ всегда идет с высокой скоростью, даже если наружная температура постоянно меняется. Например, белые медведи в Арктике или пингвины в Антарктиде выдерживают 50-градусные морозы, что составляет разницу в 87-90° по сравнению с их собственной температурой.

Виды с непостоянной температурой тела при понижении температуры способны переходить в неактивное состояние. Замедление обмена веществ в клетках сильно увеличивает устойчивость организмов к неблагоприятным погодным условиям. Переход животных в состояние оцепенения, как и переход растений в состояние покоя, позволяет им переносить зимние холода с наименьшими потерями, не тратя много энергии.

Форма тела, физиологические свойства, образ жизни, поведение организмов, их распространение и ритмы жизни являются чертами приспособленности видов (адаптации) к определенной среде обитания.

Таким образом, многообразие приспособительных свойств у организмов, выработавшихся под влиянием факторов среды, обеспечивает им возможность существования в разных условиях биосферы.

1. В чем различие понятий «жизненная форма» и «экологическая группа»?

2*. В чем выражаются адаптации к распространению плодов и семян одуванчика, вишни, репейника, мака и ели?

3*. Подумайте.

- Какие свойства тела у белого медведя и пингвина позволяют им переносить без ущерба 50-градусные морозы?

- Почему пойкилотермных животных очень мало в приполярных районах Земли?

Лабораторная работа № 6 (см. Приложение, с. 232).

§ 53 Биотические связи в природе

Ни один вид, ни один живой организм не могут существовать без других. Вся живая природа переплетена сложной системой *биотических связей*, от которых зависят возможности питания, размножения, распространения видов, способность существовать совместно и многие свойства их местообитаний. Зависимость организмов друг от друга чрезвычайно разнообразна. Отношения видов в этих связях могут быть различными — от взаимопользующих до взаимоневыгодных.

Пищевые связи. Их называют также *трофическими* (от греч. *trophe* — «пища», «питание»). От них зависит жизнь организмов, обеспеченность их энергией. Эти связи носят всеобщий характер, так как нет ни одного вида на Земле, который не служил бы пищей другим или сам не использовал бы для этих целей другие виды.

Трофические отношения образуют в сообществах сложную систему, которую называют **сетью питания**. Ее можно схематически изобразить как густую паутину, охватывающую весь органический мир, начиная с любого вида.

Например, разные представители грызунов (сурки, суслики, мыши и др.), поедая десятки видов растений, сами идут в пищу крупным хищникам и множеству паразитов. Каждый из этих видов связан пищевыми отношениями со своим кругом жертв или потребителей, мертвые остатки растений или животных также служат источниками пищи для множества других видов (моллюсков, червей, грибов, бактерий). В трофической сети нет ни начала, ни конца, так как каждый вид прямо или косвенно связан со многими.

Пищевые связи между организмами играют важную роль. Во-первых, они обеспечивают передачу органического вещества и заключенной в нем энергии от одного организма к другому. Вместе, таким образом, уживаются виды, которые поддерживают жизнь друг друга. Во-вторых, пищевые связи служат механизмом регуляции численности популяций в природе. Пищевые отношения между организмами стоят заслоном на пути чрезмерного размножения отдельных видов, что делает природные сообщества более устойчивыми и стабильными.

Среди способов добычи пищи различают *хищничество*, *паразитизм*, *собирательство* и *пастьбу*. Они различаются по затратам времени и энергии на получение пищи. Типичные *хищники* (волк, тигр, беркут и др.) тратят много сил на поиск и овладение живой добычей, которая сопротивляется или убегает, они убивают и съедают в течение жизни много жертв. *Собиратели* (воробьи, гуси, пчелы) тратят энергию в основном на поиск и сбор добычи, которая не способна сопротивляться. *Паразиты* (аскарида, свиной цепень) живут в условиях избыточных пищевых ресурсов, используя хозяина и как место обитания. *Пасущиеся* животные питаются обильным кормом, который не приходится особенно искать, и он легко доступен. Своеобразными собирателями являются фильграторы и грунтоеды в водоемах и почвах, а также насекомые-опылители (пчелы, шмели).

Хищничество — это способ добывания пищи и питания животных, при котором они ловят, умерщвляют и поедают других животных. Иногда любую связь, при которой один вид поедает другой, расширительно называют связью «хищник — жертва», используя в данном случае слово *хищник* как синоним слова *поедатель*, даже если это относится к растительным организмам (слоны, бобры, зайцы).

Паразитизм — это способ питания за счет питательных веществ другого организма (хозяина), причем последний от этого не погибает, но чувствует себя угнетенно. В мертвом теле хозяина паразиты не живут. Имеются виды организмов, которые паразитируют на других организмах, но способны одновременно и сами добывать пищу. Такие организмы называют *полупаразитами*. Например, растения омела, марьянник, мытник, паразитируя на других растениях, одновременно сами осуществляют фотосинтез.



Рис. 74. Примеры мутуализма: 1 — птицы кормятся на теле зебры; 2 — бабочка адмирал питается нектаром цветков растения телекия красивая

В одну и ту же экологическую группу по способу питания могут попасть далеко не родственные виды. Например, собирателями являются грифы-падальщики, лесные мыши, воробьи, голуби и насекомоядные растения (росянка, непентес, пузырчатка). Отфильтровывают пищу в водоемах мелкие рачки-дафнии, двусторчатые моллюски, усатые киты, морские лилии. Жуки божьи коровки и их личинки в колониях тлей пасутся так же, как коровы на лугу, не тратя времени на поиск пищи. А хищная поджарая муха-ктырь и стрекоза-коромысло на лету догоняют добычу, как это делают, например, птица сокол в воздухе, а львы и гепарды на земле.

Взаимоневыгодным типом связей между видами является *конкуренция*. Этот тип отношений возникает, если разные виды существуют за счет одного общего ресурса, когда его на всех не хватает.

Дело в том, что ресурсы, необходимые для жизни, в природе почти всегда ограничены. Если вид встречает в своем местообитании конкурента, ему достается меньше ресурсов, и это отражается на возможности размножения и на численности его популяции. Поэтому конкуренция неблагоприятна для обоих взаимодействующих видов. Жизнь каждого из них была бы лучше в отсутствие другого.

Мутуализм и симбиоз — так называют взаимовыгодные отношения (взаимопомощь), когда совместное существование видов повышает выживаемость каждого из них в борьбе за существование (рис. 74).

Взаимоотношения цветковых растений и их опылителей, ягодных кустарников и животных — распространителей их семян, жвачных копытных и их желудочной микрофлоры — широко известные примеры таких взаимовыгодных связей.

Мутуализм и симбиоз — близкие по смыслу понятия, но не синонимы. Мутуализмом (лат. *mutuus* — «взаимный») называют любые взаимопользные обязательные и случайные связи между организмами, тогда как симбиозом (греч. *symbiosis* — «сожительство») именуют связи, превратившиеся в тесное физическое сожительство. В симбиотических связях обычно участвуют виды, из которых один (иногда оба) вид находится в такой зависимости от другого, что без него существовать не может. Примеры симбиоза: лишайник — симбиоз гриба и цианобактерий (или водорослей); микориза (грибокорень) — симбиоз гриба и корня высшего растения; актиния и рак-отшельник (рис. 75).

Существуют и другие формы зависимости организмов друг от друга. **Комменсализм** — односторонние связи. Они выгодны для одного из партнеров и

безразличны для другого. Это может быть так называемое *нахлебничество* (питание остатками пищи другого вида, использование его выделений) либо *квартирантство* (обитание в норах или гнездах без вреда для хозяина, размещение растений на стволах и ветвях деревьев).



Рис. 75. Актиния на раковине, занятая раком-отшельником

Одностороннюю выгоду получают некоторые виды, используя других для расселения. Так, мелкие клещи, которые питаются в разлагающейся материи, расселяются на жуках или мухах, используя их в качестве живого транспорта. Семена и плоды многих растений имеют прицепки, что позволяет им путешествовать на шерсти животных. Человек, пробирающийся через заросли череды, также способствует распространению семян этого вида, когда вынужден затем обирать их со своей одежды.

Все эти связи пронизывают природу. Без них невозможно формирование устойчивых сообществ. Наличие и переплетение разнообразных биотических связей в природе вызывает так называемые «цепные реакции», когда в результате разрыва связей путем уничтожения или, наоборот, внедрения человеком отдельных видов может измениться все сообщество. Поэтому так важно знать формы этих связей и их количественные характеристики.

1. В чем сходство и различия хищничества и паразитизма?
- 2*. Эволюция хищника и жертвы происходит сопряженно, т. е. коэволюционно. Наблюдается ли это в таких биотических связях, как паразитизм и комменсализм?
- 3*. Какими путями избегают конкуренции птицы, живущие в одном лесу?

§ 54 Популяции

Виды существуют в природе всегда в форме популяций. Взаимодействие между видами осуществляют особи различных популяций. Длительные биотические связи в биоценозах существуют только между популяциями.

Популяция — это группа особей одного вида на определенной территории. Любой вид состоит из популяций, потому что занимаемое им на земном шаре пространство (ареал) неоднородно по условиям и это проявляется в неравномерности распределения вида.

Популяция — это форма существования вида в природе.

Разные популяции одного вида связаны между собой либо постоянно, либо эпизодически перемещением отдельных особей или заносом их зачатков — семян, спор, яиц и т. п. Результаты взаимоотношений между особями и популяциями разных видов в сообществах различны.

Так, хищники являются своего рода санитарами и оздоровителями популяций жертв. Уничтожая в первую очередь больных и слабых, они ведут таким образом отбор на выживаемость вида и приобретение им более совершенных адаптаций.

Контакт между особями хищника и его жертвы кратковременен и заканчивается обычно гибелью последней. Связи же между популяциями хищника и жертвы длительны и постоянно поддерживаются обоими видами.

Осваивая подходящую территорию и размножаясь на ней, представители популяции вступают друг с другом в разнообразные отношения. В популяциях проявляются все формы биотических связей, но наиболее распространены

конкуренция и мутуализм. Эти прямо противоположные взаимоотношения сложно сочетаются в пределах вида. Рассмотрим это на примере пространственных отношений в популяции.

Каждый вид создает особую систему пространственных отношений.

Для многих животных характерно, например, так называемое территориальное поведение. Животное чувствует себя хозяином некоторого участка, живет на нем, собирает корм, выводит потомство, охраняет этот участок от вторжения соседей. При этом соседи обмениваются информацией, сигналами об опасности, контактируют друг с другом и часто могут собираться на нейтральных территориях. Подростящая молодежь ищет для себя новые участки обитания или занимает освободившиеся от старших. Вся пригодная территория оказывается поделенной, и ресурсы используются полностью и рационально.

Система использования пространства строится только на отношениях между особями популяции. В ее основе лежит как внутривидовая конкуренция, так и взаимопомощь (мутуализм).

Каждая популяция любого вида представляет собой единство, целостность и является надорганизменной *системой*. От взаимодействия со средой ее состояние может быть различным. Чтобы охарактеризовать популяцию, нельзя ограничиваться лишь описанием качеств отдельных ее особей, нужны групповые характеристики, выражающие особенности существования популяции в данных условиях. Так, *демографические* (от греч. *demos* — «народ», «население» и *grapho* — «писать», «описывать») показатели отражают количество особей в популяции и возможности воспроизводства в данных экологических условиях.

Все основные экологические характеристики популяции — количественные.

Главная из них — численность, т. е. общее число особей. Численность сразу показывает, благоприятны или нет условия для вида на занимаемой территории. Абсолютное число особей в каждой популяции сосчитать чаще всего бывает нелегко (например, число всех мышей на большом поле или окуней в озере), поэтому обычно используют другой показатель — *плотность* популяции. Она отражает среднее число особей, приходящихся на условно выбранную единицу пространства, где их легко учесть (на квадратный метр, гектар или квадратный километр площади, на литр или кубометр воды и т. п.).

Соотношение особей по полу или возрасту отражает *демографическую*

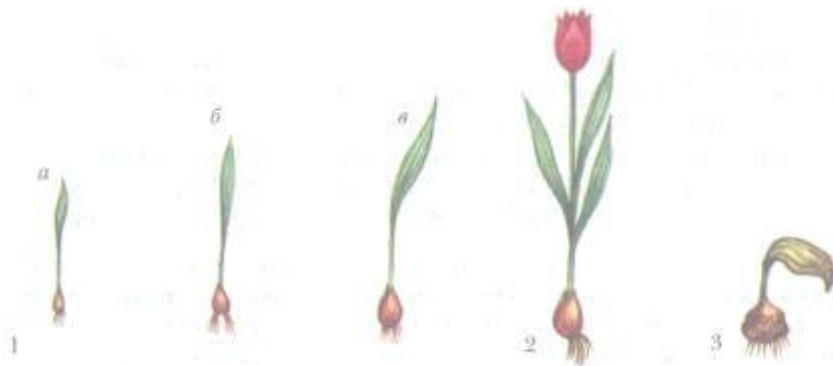


Рис. 76. Возрастные группы тюльпана разнолистного: 1 — проростки (а — 1 год, б — 2–4 года, в — 7–10 лет); 2 — взрослое растение; 3 — ставое растение

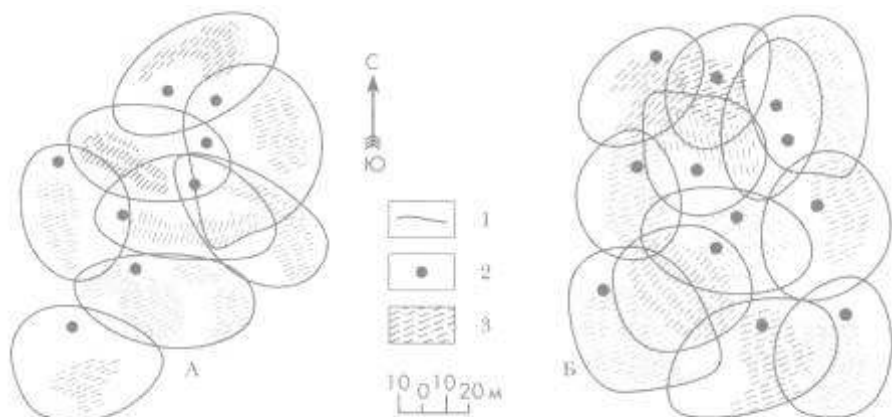


Рис. 77. Участки обитания взрослых сусликов в годы низкой (А) и высокой (Б) плотности населения: 1 — границы участков; 2 — постоянные норы; 3 — предпочитаемые места кормежки

структуру популяций (половую и возрастную).

Демографические описания — рождаемость, смертность и разница между ними, т. е. выживаемость, важны для предсказания судьбы конкретных популяций. Большое значение в определении судьбы популяции имеет ее *возрастная структура* (рис. 76).

Состояние популяций сильно зависит от доли особей, приступивших к размножению, количества (много или мало) молодого пополнения, процента особей, закончивших размножаться, и т. п.

Например, если у многолетних растений большинство особей популяции проходят все стадии развития от рождения до смерти, то данная популяция считается нормальной и устойчивой. Если она представлена лишь в виде семян, зачатков и проростков, а цветущих и плодоносящих особей мало или их нет вовсе, то мы имеем дело с популяцией внедряющегося типа. Если же, наоборот, большинство особей старые, уже не плодоносящие, то популяция, которую они образуют, является стареющей и в ближайшем будущем выпадет из биогеоценоза.

При промысле животных и растений, сбережении редких видов в заповедниках, разведении видов в неволе, создании искусственных биоценозов очень важно следить за возрастной структурой популяций.

В характеристике популяции важна также ее *пространственная структура*, т. е. отношения между особями в использовании пространства. Это связано с ресурсами, необходимыми для жизни (рис. 77).

Территориальное поведение характерно для птиц в период строительства гнезда и выведения птенцов, для множества оседлых млекопитающих — мышевидных грызунов, сурков, сусликов, соболей, куниц, для ящериц, ряда видов рыб и даже членистоногих. На своей территории животное чувствует себя в относительной безопасности, так как хорошо знает, где укрыться и где искать корм.

Способы охраны участков у разных видов животных различны: прямая агрессия, драки, чаще — просто агрессивные демонстрации и угрозы либо сигнализация звуками, пением, как у птиц, или пахучими метками, как у псовых, соболей и других зверей.

Кочующие животные также закономерно используют пространство, они регулярно перемещаются по более обширным территориям и возвращаются на старые места по мере восстановления там использованных ресурсов. Кочуют животные только группами — стадами или стаями, так как в одиночку они не в состоянии успешно защищаться от хищников, попадая на новую территорию.

Популяции животных имеют разную структуру и по характеру взаимоотношений между отдельными особями. У некоторых видов все особи живут в одиночку, встречаясь лишь на период размножения. У других популяции включают такие объединения, как семьи, стада, стаи или колонии, со своими сложными связями внутри них. Эти особенности характеризуют так называемую поведенческую, или *этнологическую* (от греч. *ethos* — «обычай», «нрав» и *logos* — «учение»), структуру популяций.

1. Поясните различие между понятиями «численность популяции» и «плотность популяции».

2*. Как по демографическим показателям популяции можно судить о перспективах ее существования?

3. Замените выделенные слова утверждений термином.

- *Общее число особей на данной территории* показывает, благоприятны или нет здесь условия для вида.

- Такие показатели, как *рождаемость*, *смертность* и *разница между ними*, т. е. *выживаемость*, важны для предсказания судьбы конкретных популяций.

§ 55 Функционирование популяции и динамика ее численности

Численность популяций чрезвычайно динамична. В популяциях постоянно происходят изменения. Их подвижность и силу отражают так называемые *динамические характеристики*. Состояние популяции характеризуется такими показателями, как рождаемость, смертность, вселение и выселение особей, численность, а также скорость роста. При этом непременно учитывается время. Так, рождаемость — это число молодых особей, появившихся на свет за день, месяц или год, а смертность — число погибших за этот же период.

Рождаемость в популяциях зависит, с одной стороны, от особенностей вида, а с другой — от экологических условий. Максимальное число потомков, которое за жизнь могла бы произвести одна особь, получило название *биотический потенциал вида*. Он у всех видов разный. Слониха рождает за жизнь всего 5-6 слонят, а треска ежегодно мечет миллионы икринок. Биотический потенциал неодинаков и у различных популяций вида. Например, в Подмоскowie *серая полевка* лесной

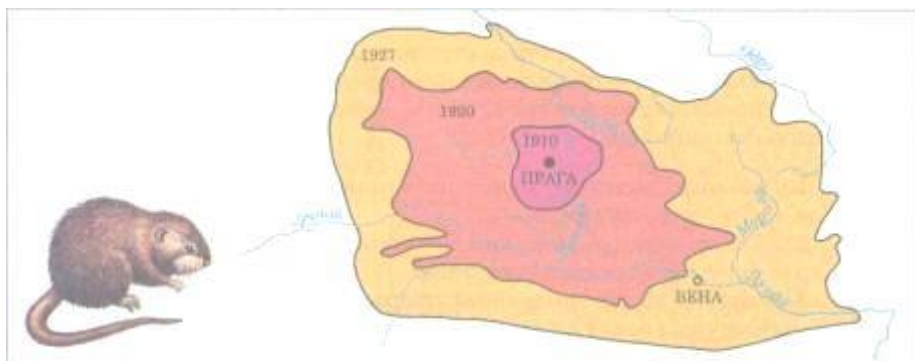


Рис. 78. Расселение и рост численности ондатры в Европе после того, как вблизи Праги были выпущены 5 особей из Северной Америки

популяции обычно в одном помете приносит 5-7, иногда 9 детенышей, тогда как самочка пашенной популяции той же *серой полевки* рождает больше — 7-9 (даже бывает 13) детенышей.

Биотический потенциал всегда выше у видов, подвергающихся высокой смертности, иначе они исчезли бы с лица Земли.

Слониха растит и оберегает слонят вместе со всем стадом, а треска пускает свою икру на волю волн, где основная масса ее поедается или погибает. Особи пашенной популяции полевки подвергаются массовой гибели во время уборки урожая и вспашки полей, чего не бывает у лесной популяции.

Баланс рождаемости и смертности, а также вселения или выселения особей во многом определяет *плотность* популяции на занимаемой ею территории. В благоприятных условиях всегда происходит рост популяции, он особенно выражен при заселении видом новых, подходящих для размножения мест (рис. 78).

Рост популяции в новом местообитании происходит у всех видов сходным образом. Теоретически популяция может расти неограниченно, увеличиваясь в геометрической прогрессии. Но на деле этого никогда не происходит, потому что каждое местообитание имеет ограниченные ресурсы для жизни вида. Сумма этих ресурсов оценивается как *емкость среды*. Например, для лосей, которые питаются веточным кормом, лиственные леса с молодой порослью — более емкая среда, чем темные хвойные леса.

Если численность популяции превысит емкость среды, начнется массовая гибель особей. Поэтому реальный рост численности популяции идет не беспредельно. Сначала он ускоряется, а затем начинает замедляться и постепенно прекращается. В стабильном состоянии прирост популяции уравнивается потерями особей за счет смертности и миграций. Подобная кривая роста характерна для популяций всех видов, от бактерий до человека. Уровень, на котором приостанавливается рост численности популяции, не всегда достигает емкости среды (рис. 79).

Многие популяции перестают расти гораздо раньше, до исчерпания всех пригодных ресурсов. Сигналом приближающейся опасности «перепроизводства» вида в данном местообитании служит рост *плотности* популяции. Проявляется одна из важнейших и удивительных особенностей живой природы — зависимость состояния популяции от собственной плотности. Эта зависимость отрабатана естественным отбором у каждого вида по-разному.

У растений с ростом плотности усиливается внутривидовая конкуренция и происходит *самоизреживание*. Слабым растениям не хватает ресурсов, и они погибают.

У подвижных животных прямого подавления соседей не происходит, а при повышении плотности популяций усиливаются *миграционные процессы*, т. е. выселение части особей на другие территории. Это особенно наглядно происходит, например, у белок или тундровых грызунов — леммингов. Миграции этих зверьков после успешного размножения приобретают характер массовых нашествий на другие территории. Перелеты стадной саранчи огромными тучами — тоже выселение за пределы мест переразмножения.

Немаловажный способ реагирования на повышение плотности популяции — *задержка размножения*, вплоть до полного его прекращения.

Популяции представляют собой не просто сумму особей, а сложные надорганизменные системы, которые обладают способностью к регуляции своей численности и рациональному, неистощительному использованию ресурсов среды. Эти свойства возникают на основе закономерных связей между членами популяций.

Численность популяций всегда находится под двойным контролем: собственной плотности и воздействия различных врагов — хищников, паразитов и конкурентов.

Если численность жертв возрастает, хищникам легче добывать пищу, они ловят больше добычи и могут сдерживать дальнейший рост популяции. Если же жертвы размножаются быстрее, чем их могут истреблять имеющиеся хищники, то их обилие становится выгодным для паразитов и возбудителей заразных заболеваний, которые могут снизить численность популяции. Виды, которые мало истребляются природными врагами (например, волки, тигры, гиеновые собаки и т. п.), регулируют свою численность в основном за счет внутривидовых отношений — территориальности, миграций, ограничения рождаемости.

Численность популяций постоянно изменяется под влиянием как абиотических, так и биотических факторов.

Факторы неживой природы действуют на популяции односторонне, под их влиянием смертность либо усиливается, либо ослабляется. Межвидовые и внутривидовые отношения (биотические факторы) зависят от плотности популяции. Когда плотность растет, это вызывает усиление действия врагов и конкурентов, которые таким образом и служат регуляторами плотности популяции. В богатых видами биоценозах численность и плотность популяций каждого вида колеблются лишь в определенных пределах, и потому популяции не растут до полного истощения своих ресурсов. Это особенно

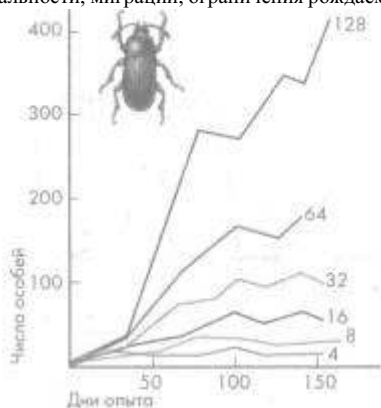


Рис. 79. Рост численности мух в различных количествах муки. Цифрами у кривых обозначено количество муки в граммах при температуре 27 °C.

хорошо видно на примере сопоставления колебания (динамики) численности хищника и жертвы (рис. 80).

При обеднении видового разнообразия, вызванном антропогенным воздействием, баланс сил нарушается и возникают условия для вспышек массового размножения отдельных видов.

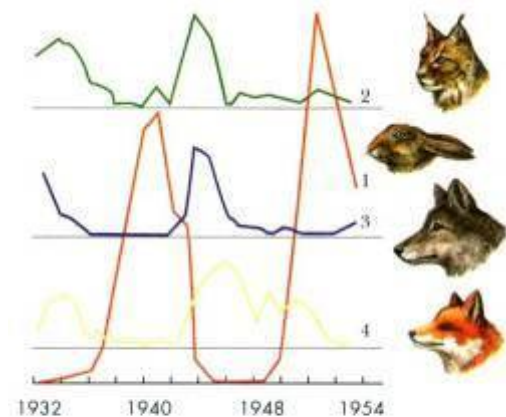


Рис. 80. Колебания численности зайцев и хищников (по данным пушных заготовок центральной части бывшего СССР с 1932 по 1954 г.): 1 — заяц; 2 — высь; 3 — волк; 4 — лисица.

1. Какое значение для популяции имеет емкость среды?

2*. Приведите примеры конкурентных и мутуалистических отношений в популяциях животных.

- 3*. Подумайте, почему выживают популяции с низкой рождаемостью.
4. От чего зависит биотический потенциал вида?

§ 56 Сообщества

Закономерное сожительство видов в природе получило название *сообщество* или *биоценоз* (от греч. *bios* — «жизнь» и *koinos* — «общий»). Человек может создавать и искусственные биоценозы, например сады, поля, парки, но они бывают устойчивыми только в том случае, если строятся по природным законам.

Место, занимаемое природным биоценозом, носит название *биотоп*. Условия биотопа во многом определяют подбор видов в биоценозе. Все члены биоценоза должны быть приспособлены к этому комплексу экологических факторов. Среди них имеют большое значение абиотические факторы (климат, почва, рельеф местности, характер грунта, ветров и течений).

Для членов сообщества особенно важна биотическая среда, т. е. условия, которые создаются в результате присутствия живущих здесь видов. Прежде всего, это обеспечение пищей через прямые или косвенные связи. Даже для растений условия их минерального питания зависят от активности многих видов почвенной микрофлоры, животных, грибов и бактерий, разлагающих мертвый опад.

Не менее значима для членов сообщества средообразующая деятельность различных видов, благодаря чему условия биотопа меняются в сторону, благоприятную для других видов. Особенно большую роль играют древесные и травянистые виды растений, поскольку создают особые биоценозы — лесные, луговые, степные.

Растения создают особую среду: уменьшают силу ветра, меняют микроклимат, образуют тень, дают кислород и испаряют влагу, обеспечивают питанием насекомых, птиц, зверей, продуцируют слой опада в почву. Все это делает возможным существование многих видов, которые иначе не смогли бы прижиться на данной территории.

Виды, которые в наибольшей мере влияют на условия жизни в сообществе, называют *средообразователями* или *эдификаторами*.

В еловом лесу, например, самый сильный средообразователь — ель, в болотах — мхи, в степях — плотнодерновинные травы, такие как ковыль, типчак и др. Иногда основными средообразователями выступают животные. Сурки, суслики и песчанки своими норами изменяют и состав растительности, и влажность почвы, и весь микрорельеф, поддерживают влажность почвы. Микроклимат их нор позволяет жить в степных сообществах многим видам насекомых, пауков, ящериц и других животных.

Состав любого биоценоза зависит от конкурентных отношений. В сообществах уживаются только те виды, которые по-разному используют сходные ресурсы. Это наглядно проявляется, например, в ярусном строении лесного сообщества. Деревья, кустарники, травы своими побегами с листьями занимают различное пространство (ярусы). Высокие деревья — верхний ярус, кустарники — средний, а травы — нижний ярус. В контакте с ними по ярусам размещаются и животные: в кронах растений верхнего яруса — птицы, белки, а в нижнем ярусе — зайцы, ежи, лисы, муравьи.

Листья растений разных видов, располагаясь на разных высотах, поглощают неодинаково солнечные лучи, поскольку световой поток по мере прохождения сквозь кроны деревьев и кустарников лесного сообщества значительно теряет свою интенсивность. Поэтому самые светолюбивые виды деревьев занимают первый, верхний ярус, а теневыносливые располагаются в самом нижнем, приземном ярусе. При таких различных свойствах растений в сообществах размещается много видов, они не мешают друг другу и не конкурируют между собой.

Многочисленные животные в сообществах обычно избегают конкуренции, переходя на разные виды пищи, собирая ее в разных местах, разными способами или в разное время суток, разграничивая места размножения, кормления и убежищ.

Биоценоз способен вместить столько видов, сколько способов разграничения ресурсов они используют.

Каждый вид играет в сообществе свою роль и занимает свое место. Это положение вида в сообществе называют *экологической нишей*. Она отражает функциональное участие вида в биоценозе, его место и роль в живом окружении, отношения с другими видами (рис. 81).

Экологическая ниша — это свойство вида, отражающее его роль в системе многочисленных биоценологических связей.

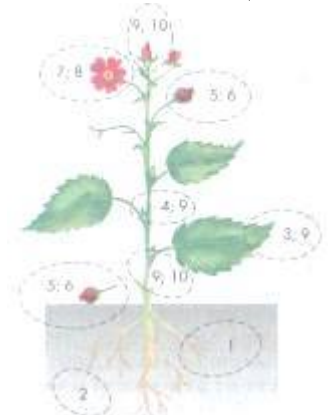


Рис. 81. Экологические ниши отдельных видов, специализирующихся на цветущем растении:

- 1 — корневые;
- 2 — экстрисотрофы (питающиеся выделениями из корней);
- 3 — листояды; 4 — стволояды;
- 5 — плодояды; 6 — семяеда;
- 7 — цветояды; 8 — тыльцеяды;
- 9 — соцветояды; 10 — почкояды.

Два вида в одной экологической нише не уживаются. Возможно лишь частичное перекрытие экологических ниш, когда виды разграничиваются по основным ресурсам, но совпадают по некоторым дополнительным. Разделение совместно живущими видами экологических ниш с их частичным перекрытием — одна из причин устойчивости природных биоценозов. Если какой-либо из видов резко снижает свою численность или выпадает из состава сообщества, его роль берут на себя другие.

Живущие вместе виды обычно специализируются в использовании среды, но каждый из них в отсутствие конкурента способен на большее. Поэтому улучшение условий жизни или удаление из биоценоза другого вида, близкого по экологическим требованиям, приводит к увеличению численности любого вида. Чем больше видов в составе биоценоза, тем ниже численность каждого вида, тем сильнее выражена их экологическая специализация.

Уменьшение видового разнообразия грозит резким увеличением (вспышкой) численности отдельных оставшихся видов. Это очень важное экологическое правило имеет непосредственное отношение к деятельности человека. Так, виды,

называемые вредителями сельского или лесного хозяйства, размножаются в большом количестве именно из-за выпадения из состава биоценоза их врагов и конкурентов. Таким образом, к появлению вредителей приводит деятельность самого человека.

Не все виды одинаково важны в составе сообщества. В каждой группе организмов в составе биоценоза (растений, грибов, бактерий, насекомых, червей, птиц, млекопитающих) имеются как массовые, многочисленные виды, так и редкие, малочисленные. Они играют в биоценозах разные роли.

Массовые виды составляют основу, костяк любого сообщества. Они определяют его облик, поддерживают главные связи, в наибольшей мере создают условия местообитания. Такие виды называют *доминантами*. Так, в ельнике зеленомошном, как и следует из его названия, в первом ярусе доминантом является ель, в приземном доминируют зеленые мхи. Среди птиц в таком ельнике преобладают пеночки, синицы, а среди мелких грызунов — рыжая полевка. Биологи обычно и называют типичные природные биоценозы по доминирующим видам растений:

сосняк-черничник, ельник-кисличник, березняк волосистоосоковый, степь ковыльная и т. п. В каждом биоценозе доминируют и определенные виды животных.

Наибольшее разнообразие в природных сообществах достигается, однако, не массовыми, а редкими и малочисленными видами. В отдельные промежутки времени они могут повышать свою численность. Обычно это происходит, если изменчивость сезонных и погодных условий оказывается неблагоприятной для основных видов — доминантов. Так поддерживается устойчивость сообщества. Все экологические ниши оказываются заполненными, и ресурсы среды полностью используются.

Сообщество имеет сложную, но вполне закономерную видовую структуру и численное соотношение отдельных видов.

При выпадении из состава сообщества редких и малочисленных видов биоценоз до определенного времени сохраняет свой внешний облик. Его устойчивость ослабевает постепенно, по мере снижения видового разнообразия. При значительном снижении разнообразия малочисленных видов даже небольшие изменения среды, неблагоприятные для доминантов, приводят к разрушению сообществ. Наиболее катастрофично для биоценозов ослабление или удаление видов-эдификаторов, как это происходит, например, при рубках леса.

Выделяют разные типы основных приспособлений видов к жизни в сообществах. Впервые они были подмечены у растений и названы *жизненными стратегиями*.

Первый тип жизненной стратегии — виды с мощной конкурентной способностью занимают в сообществе основные позиции, используют основные ресурсы, подавляют другие виды и обычно входят в состав доминантов (например, ель, дуб). Второй тип — виды довольствуются малым количеством ресурсов и уживаются с доминантами; при освобождении ресурсов могут использовать их целиком, резко увеличивая свою численность. Третий тип — виды совсем не выдерживают конкуренции с другими, но зато обладают способностью быстро расселяться в большом количестве и первыми занимать освободившиеся участки. Процветают на них до тех пор, пока не появятся более сильные конкуренты.

Знание особенностей видов и законов организации биоценозов дает возможность поддерживать природные сообщества и грамотно создавать искусственные биоценозы, нужные человеку.

1. Раскройте смысл понятия «экологическая ниша».
2. Какие виды называют эдификаторами?
- 3*. Подумайте.

- Зависит ли число экологических ниш биоценоза от особенностей биотопа?

- Возможны ли биоценозы, состоящие только из доминирующих видов?
- Почему при увеличении видового разнообразия уменьшается вероятность вспышек численности отдельных видов в биоценозах?

§ 57 Биогеоценозы, экосистемы и биосфера

Каждый живущий организм связан с окружающей средой потоками вещества и энергии, проходящими через его тело. Потребляя и выделяя вещество и энергию, живые организмы влияют на среду своего обитания уже тем, что живут. Результаты



Владимир Иванович
Вернадский (1863–1945)

жизнедеятельности каждого отдельного существа могут быть невелики и малозаметны. Но все вместе они сливаются в мощную силу, преобразующую земную поверхность.

Выдающийся отечественный ученый-естествоиспытатель, создатель ряда наук о Земле и учения о биосфере В.И. Вернадский писал, что на Земле нет силы более могущественной по своим последствиям, чем живое вещество, как он назвал все живые организмы, взятые в целом.

В биоценозах все популяции видов связаны друг с другом сложной пищевой сетью. Солнечная энергия поступает в организмы животных из растений, которые черпают запасы вещества и энергии из неживой природы. В итоге любой биоценоз представляет некое единство со своим биотопом, создавая целостную систему, которую называют **экосистемой**. Организованная в экосистемы жизнь на Земле продолжается уже миллионы лет, не прерываясь. Экосистемы бывают разных масштабов, наземные и водные: пруд с его обитателями, озеро, море, океан, небольшой лес, целая тайга, степь, пустыня — все это природные экосистемы. Аквариум, сад, пшеничное поле — экосистемы, созданные человеком.

Наземные экосистемы, связанные с участками однородной растительности, называют **биогеоценозами**. Таковы, например, ельник кисличный, ельник зеленомошный, березняк разнотравный, сфагновое болото, луг, ковыльная степь и т. п.

В названии «биогеоценоз» подчеркивается тесная взаимосвязь («ценоз») живых



Рис. 82. Основные структурные компоненты экосистемы. Энергия, химические вещества и организмы связаны между собой потоками энергии и круговоротом веществ

(«био-») и неживых («гео-») компонентов на определенном участке земной поверхности. Учение о биогеоценозе и сам термин создал крупный российский ученый-ботаник В.Н. Сукачев.

Экосистем на Земле очень много. Существенным свойством каждой из них является *круговорот веществ и потоки энергии*. Из-за большой роли живых организмов круговорот веществ в экосистемах часто называют **биологическим круговоротом веществ**.

Биологический круговорот веществ является главным условием существования экосистемы.

Круговорот веществ в биогеоценозе осуществляется благодаря наличию в нем четырех неотъемлемых компонентов (рис. 82): 1) *абиотического компонента* (запаса биогенных веществ и солнечной энергии); 2) *продуцентов* (создающих органическое вещество); 3) *консументов* (потребляющих органическое вещество); 4) *редуцентов* (разлагающих мертвое органическое вещество).

Биогенными веществами называют минеральные соединения, используемые для синтеза органических веществ. *Продуценты* — это организмы, создающие эти органические вещества и запасающие в них лучистую энергию Солнца. Обычно это фотосинтезирующие зеленые растения и некоторые прокариоты (цианобактерии). *Консументы* — это переработчики биологической продукции, в основном животные, а также грибы и некоторые паразитические и насекомоядные растения. *Редуценты* — организмы, разлагающие мертвые остатки растений, животных и других представителей живого мира до минеральных соединений (углекислого газа, воды и минеральных солей). В роли редуцентов выступают по преимуществу бактерии, а также грибы и некоторые животные (простейшие). Совместная деятельность этих разных по экологическим функциям групп организмов и является двигателем биологического круговорота веществ в биогеоценозе.

Биогеоценозы (экосистемы) устойчивы лишь в том случае, когда все четыре компонента, входящие в их состав, поддерживают круговорот веществ достаточно полно.

Круговорот веществ поддерживается в биогеоценозах (экосистемах) постоянным притоком все новых и новых порций энергии. Хотя по закону сохранения энергии она не исчезает бесследно, а лишь переходит из одной формы в другую, круговорота энергии в экосистемах быть не может. Расходуясь на жизнедеятельность организмов, усвоенная ими энергия постепенно переходит в тепловую форму и рассеивается в окружающем пространстве. Таким образом, деятельность экосистемы напоминает круговое вращение мельничного колеса (круговорот веществ) в потоке быстротекущей воды (поток энергии).

Одна и та же порция вещества и заключенная в нем энергия не могут бесконечно передаваться по сложной сети питания, связывающей организмы в биогеоценозе. На самом деле трофическая сеть состоит из переплетения коротких **пищевых (трофических) цепей** — последовательного ряда питающихся друг другом организмов, в котором можно проследить расходование первоначальной порции энергии. Каждое звено ряда называют **трофическим уровнем**.

Возьмем для примера короткую пищевую цепь: капуста (первый трофический уровень) — коза (второй трофический уровень) — волк (третий уровень). Капуста с экологической точки зрения — продуцент, коза — консумент первого порядка как растительноядное животное, а хищный волк — консумент второго порядка. Проследим, как расходуется в этой цепи солнечная энергия, связанная в кожانه капусты, зная, что от усвоенной животным пищи лишь небольшая доля идет на рост организма, т. е.

откладывается в его теле. Остальная тратится на поддержание обмена веществ, на обеспечение размножения и часть удаляется из организма как неусвоенная.

Подсчитано, что в среднем на рост идет около 10 % усвоенной энергии. Следовательно, в теле козы задержится даже менее десятой части энергии, заключенной в кочане капусты, так как часть вещества капусты не усваивается. Когда же козу съест волк, то на прирост его тела достанется не более одного процента энергии, которая была в кочане капусты.

В каждом последующем звене цепей питания количество задерживаемой энергии уменьшается примерно в 10 раз, и уже через 4-5 звеньев она практически полностью иссякает. Это так называемое экологическое «правило десяти процентов» имеет огромное практическое значение. Оно позволяет понять, как расходуется в экосистеме *продукция* — органическое вещество, создаваемое растениями за определенное время. На создание 1 кг массы растительоядных животных затрачивается в 10 раз больше солнечной энергии, чем на 1 кг массы растений. Продукция плотоядных поэтому обходится в 100 раз дороже.

Передача органического вещества и энергии по цепям питания подчиняется «правилу десяти процентов».

«Правило десяти процентов» можно выразить графически в виде так называемых *экологических пирамид*. В них отображают: число особей, включенных в пищевую цепь (*пирамида численности*), биомассу (суммарную массу организмов) экосистемы (*пирамида биомассы*), вовлеченную в оборот энергию (*пирамида энергии*). Нижняя ступень соответствует первому, трофическому уровню, а каждая последующая ступень оказывается в 10 раз меньше предыдущей (рис. 83).

Человеческое общество живет за счет первичной и вторичной продукции растений и животных. Продукция животных обходится и природе, и людям дороже, чем растительная. Поэтому проблема голода для населения разных стран начинается прежде всего с нехватки вторичной продукции — животных белков, необходимых в рационе человека.

Даже в самых устойчивых биогеоценозах (экосистемах) Земли круговорот веществ не замкнут. Часть вещества переносится ветрами и течениями, сносится в

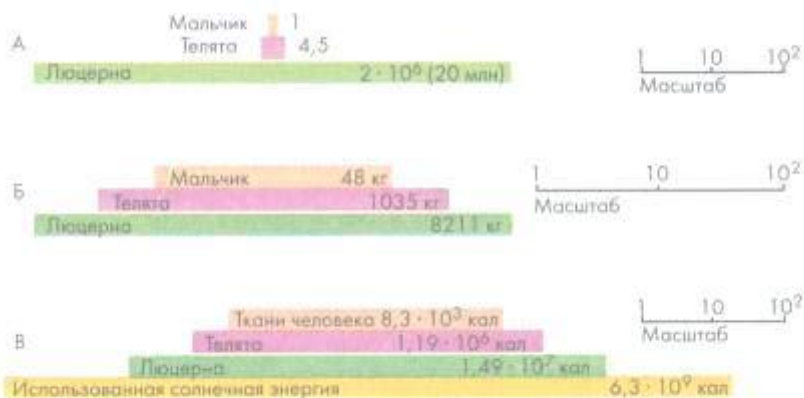


Рис. 83. Пирамиды численности (А), биомассы (Б) и энергии (В) для упрощенной пищевой цепи: люцерна — телята — мальчик

понижения рельефа, мигрирует вместе с поверхностным стоком и подземными водами. В результате все экосистемы суши и океана оказываются связанными в единую глобальную экосистему — биосферу. Из множества связанных друг с другом круговоротов складывается установившийся за многие миллионы лет глобальный биологический круговорот веществ биосферы, поддерживающий устойчивость жизни на планете.

Учение о биосфере создано В.И. Вернадским. Он характеризует биосферу не только как область распространения жизни на Земле, но и как часть планеты, целиком преобразованную жизнью. По Вернадскому, круговороты важнейших биогенных элементов в биосфере создаются организмами. Благодаря им химические вещества оболочек Земли попеременно переходят из неживой природы в живое вещество, а из живого вещества вновь в неживую природу.

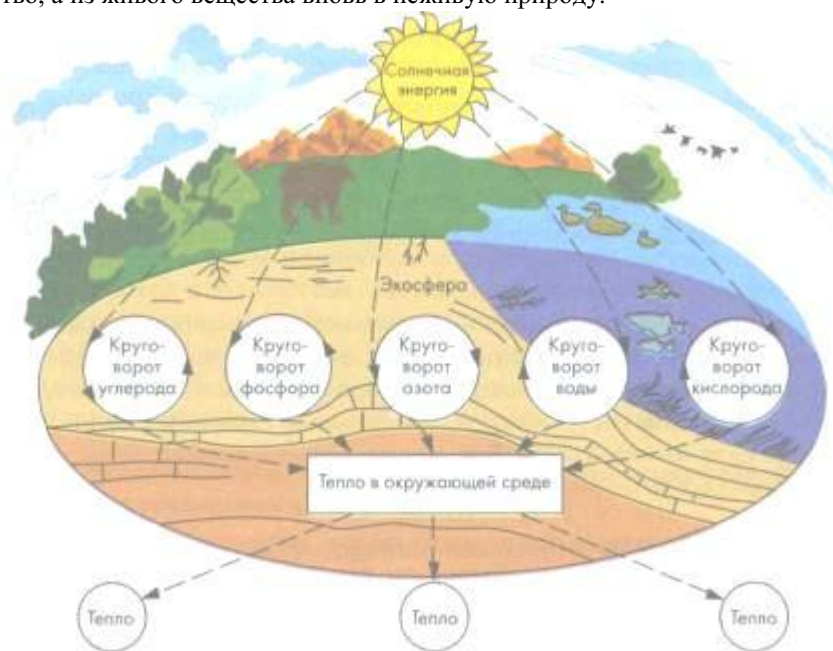


Рис. 84. Важнейшие круговороты веществ и потоки энергии в биосфере

Поэтому биосферу называют также *глобальной экосистемой*. Биологический круговорот зародился с момента появления первых организмов (коацерватов, или протобионтов) и продолжается уже в течение миллиардов лет. Так поддерживается жизнь и существование биосферы (рис. 84).

Биосфера как глобальная экосистема — закономерный продукт эволюции планеты Земля. Вместе с тем биосфера является главнейшей ареной жизни и хозяйственной деятельности человека. В своем глобальном проявлении биосфера выступает как гигантская экосистема, которая аккумулирует с помощью растений энергию Солнца и трансформирует ее в живые системы, обеспечивая непрерывность и многообразие жизни на нашей планете.

1. Как соотносятся между собой понятия «биоценоз», «экосистема» и «биогеоценоз»?

2. Что является главным условием, поддерживающим существование экосистем?

3*. Подумайте.

- Может ли один и тот же вид входить в разные цепи питания?
- Почему человек разводит в основном растительноядных животных?
- Почему в пищевой сети нет конца и начала, а в пищевых цепях — есть?

§ 58 Развитие и смена биогеоценозов

Биогеоценозы со сбалансированным круговоротом веществ могут существовать бесконечно долго, пока внешние силы не выведут их из равновесия. И действительно, темнохвойная тайга, ковыльные степи, широколиственные дубравы занимали свои места тысячелетиями после последнего оледенения, и лишь деятельность человека за последнее столетие сильно изменила эти ландшафты.

Вместе с тем в природе существует множество нестабильных биогеоценозов, направленно изменяющихся даже без какого-либо вмешательства извне. Мелеют и зарастают неглубокие озера, на месте мокрого луга вскоре появляются заросли кустарников, лишайники на скалах постепенно заменяются мхами, а затем и травами, и под ними формируется тонкий слой почвы. Все это примеры нестабильных экосистем, сообщества которых быстро меняют состав видов.

Развитие биогеоценоза происходит не так, как развитие организма. Рост и усложнение организма определяются его наследственностью, т. е. заложенными в зиготе генами. Биогеоценозы возникают по другому принципу. Они формируются на основе случайного (самопроизвольного) подбора видов, имеющихся в окружающей среде и способных существовать в данных условиях. Возникающий таким путем состав видов не существует долго, а изменяется. Процесс изменений идет до тех пор, пока не установится сообщество, способное поддерживать сбалансированный круговорот. Такой процесс саморазвития экосистемы называют *экологической сукцессией* (лат. *successio* — «преемственность») (рис. 85).

Сукцессии могут быть первичными и вторичными, т. е. восстановительными.

Первичные сукцессии начинаются с заселения обнажившихся участков территории — осыпей, отмелей, голых скал, сыпучих песков или отвалов, созданных человеком. Эти безжизненные участки сначала занимают виды, которые способны быстро расселяться.

Заносятся ветром и водой их семена, споры, прилетают насекомые, забегают мелкие грызуны, и некоторые из них приживаются на данном участке. Сообщества, которые образуются из таких случайных видов, называют *пионерными*. Они, как правило, малоустойчивы, а их виды, успев частично изменить среду, вскоре вытесняются новыми вселенцами.

На пионерной стадии сообщество не сбалансировано. В нем еще не сформировались

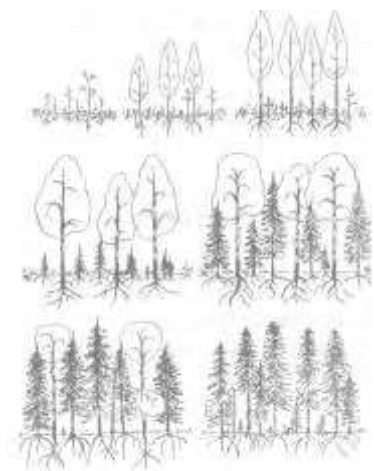


Рис. 85. Развитие ельника на заброшенной поляне

сложные цепи питания, не заняты все экологические ниши, растительная продукция не полностью используется консументами, редуцентами и накапливается в экосистеме. Новые виды, поселившиеся здесь, тоже изменяют среду, делая ее непригодной для себя, и потому вскоре вытесняются конкурентами. В результате происходит очередная замена одного биогеоценоза качественно другим, т. е. происходит **смена биогеоценозов**. Возникающие на этом этапе пионерные системы называют также *незрелыми*.

Смена биогеоценозов — это замена одного биогеоценоза другим, качественно отличающимся от предыдущего.

Постепенно, по мере внедрения популяций других видов, сообщество становится все более устойчивым. В нем нарастает видовое разнообразие, происходит все большее наполнение сообщества представителями разных жизненных форм и расхождение видов по экологическим нишам и ярусам, ослабляется конкуренция, увеличивается значение взаимовыгодных отношений. В сообществе накапливается все больше видов с длительными циклами развития. Многочисленные паразиты и хищники регулируют количество своих жертв, не допуская всплеск их численности. Вся продукция, созданная растениями, идет на поддержание огромной армии животных, грибов и бактерий. В одних цепях питания перерабатываются живые части растений и животных, в других — мертвая органическая масса. Оба процесса уравнивают друг друга. Биогеоценозы становятся устойчивыми, так как изменения среды, вызываемые одними видами, компенсируются деятельностью других. Такие экосистемы называют *зрелыми* или *конечными* и *коренными*.

Круговорот веществ в зрелых биогеоценозах сбалансирован.

Вторичные, или восстановительные, сукцессии начинаются после частичного нарушения экосистем. Такие нарушения происходят, например, после лесного пожара, рубки леса, вспашки целины. В этих случаях уничтожаются не все элементы экосистемы, остается сформированная живыми организмами почва, сохраняются семена, корневища, споры, выживают некоторые виды животных. Восстановительные сукцессии протекают несколько иначе, чем первичные, но тоже приводят к формированию стабильных, зрелых биогеоценозов.

Время первичных сукцессий исчисляется в природе сотнями лет, вторичные происходят несколько быстрее. Например, ельники в европейской части России после рубок восстанавливаются за 60-80 лет, проходя стадии временных сообществ — кустарниковых зарослей и мелколиственных лесов.

Наряду с крупномасштабными и долгосрочными сукцессиями в природе протекает множество мелкомасштабных и краткосрочных. Зарастают, тоже проходя ряд этапов, земляные выбросы кротов, завалы деревьев в лесу, сусликовины в степях, днища высохших луж, прудов и т. п. Наряду с растительностью на этих участках меняется и животное, и микробное население сообщества. Такие мелкие сукцессии постоянно происходят в крупных стабильных биогеоценозах, восстанавливая в них локальные нарушения и поддерживая целостность и стабильность экосистем.

Экологические сукцессии являются механизмами и развития, и самоподдержания, и восстановления природных экосистем.

Понимание законов экологических сукцессий важно для многих сторон деятельности человека. Следует знать, что биогеоценоз не может одновременно быть высокоустойчивым и накапливать при этом избыток первичной продукции. Создавая искусственные экосистемы (поля, сады и огороды), надо понимать, что они крайне

неустойчивы и требуют постоянной поддержки человека: вспашки, удобрений, посевов, полива и т. п. Эта неустойчивость проявляется и во вспышках численности вредителей, и в атаках сорняков, и в эрозии почв, и в исчерпании запасов минеральных соединений. Если на следующий год не засеять поле вновь, оно стремительно преобразуется сукцессией в пустошь, а затем в луг или кустарниковые заросли.

Управление сукцессиями — один из основных путей экологически грамотного сотрудничества с природой. Чтобы не подрывать ее стабильность и получать первичную продукцию, люди должны так организовывать ландшафты, чтобы они включали и зрелые, и незрелые экосистемы. Старый лозунг «Превратим всю Землю в цветущий сад!» не выдержал экологической проверки. Сад — пионерная и нестабильная экосистема, и у человечества не хватит сил бороться против природы. Сады, поля должны чередоваться в ландшафте с лесами, перелесками, задернованными участками, водоемами и другими типами природных биогеоценозов, обеспечивая все то разнообразие, на котором строится устойчивость природной среды в биосфере.

1. Как проявляются сукцессии в природе?

2*. По каким причинам происходит саморазвитие сообществ?

3*. Подумайте.

• Обеднеет или обогатится природа, если предположить, что все неустойчивые сообщества будут заменены устойчивыми?

• Чем выгодны для человека незрелые сообщества?

§ 59 Основные законы устойчивости живой природы



Рис. 86. Биогеохимический цикл углерода

Людям необходимо понимать, на чем основана устойчивость популяций, сообществ и экосистем, чтобы соразмерять свою деятельность с законами природы. Назовем некоторые наиболее важные для сохранения устойчивости экологические закономерности: цикличность, отрицательная обратная связь, биологическое разнообразие видов.

Цикличность (греч. *kyklos* — «кругооборот»), т. е. многократное использование биогенных веществ, лежит в основе биологического круговорота, от которого зависит устойчивость экосистемы (биогеоценоза) (рис. 86).

Водород, кислород, углерод, азот, фосфор и другие биогенные элементы совершают в биосфере постоянные и многократные миграции между телами организмов и физической средой. Плоть живущих сейчас людей включает атомы, побывавшие в составе тел древних стегоцефалов, динозавров, первоптиц и мамонтов.

Циклическое использование ограниченных по запасам веществ делает их практически неисчерпаемыми. На этом основана вечность жизни. Иначе она давно угасла бы на Земле, израсходовав все доступные ресурсы.

Отрицательная обратная связь заключается в том, что отклонения от нормального состояния системы вызывают в ней такие изменения, которые начинают противодействовать этим отклонениям. В итоге происходит регуляция, т. е. возврат системы в прежнюю норму.

На отрицательной обратной связи основано самоподдержание всех сложных биосистем.

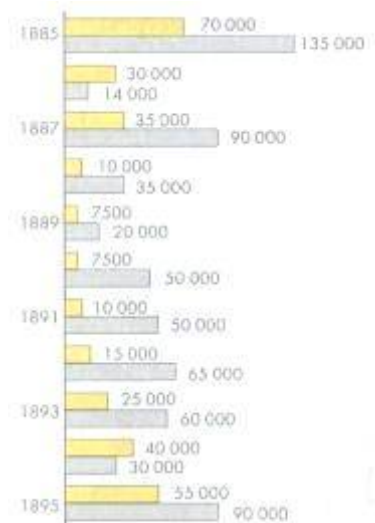


Рис. 87. Сопряженное колебание численности зайца и рыси, наблюдаемое длительное время на территории Канады. Желтая линия — численность рыси, серая — зайца

Отрицательная обратная связь регулирует численность популяций в биогеоценозе и осуществляется через биоценотические, т. е. межвидовые, отношения. В основном это связи между хищником и жертвой, паразитом и хозяином. Рост численности жертв, создавая хорошую кормовую базу для хищников, обеспечивает последним успешное размножение и увеличение численности в следующем поколении. В геометрической прогрессии при этом возрастает и влияние хищников на популяции жертв, что приводит к резкому снижению численности последних. Поэтому виды, у которых много природных врагов, т. е. их «все едят», редко достигают численности, опасной для подрыва их собственных ресурсов. Точно так же снижение численности жертв, согласно принципу обратной связи, ведет к снижению численности хищников. Такое сопряженное колебание численности жертв и хищников хорошо видно на примере взаимодействия зайца и рыси (рис. 87).

У некоторых видов вспышки массового размножения происходят даже в природных сообществах. Обычно плотность их популяций сдерживается многочисленными потребителями, но после суровых зим или засушливого лета часть врагов погибает, что и приводит к вспышке численности особей вида. Например, у бабочек сибирского шелкопряда в таежных лесах не менее 60 видов потребителей. Особенно активно сдерживают их численность некоторые мелкие

перепончатокрылые — яйцеды, личинки которых, развиваясь в яйцах шелкопряда, особенно чувствительны к сильным морозам и в массе погибают, яйца же шелкопряда выживают, и начинается резкий рост численности вида. До того, как восстановится численность регуляторов, гусеницы шелкопряда успевают оголить большие массивы хвойных пород, а затем вышедшие из куколок бабочки разлетаются в новые места, где снова попадают под действие большого комплекса паразитов и хищников. Это пример того, к чему приводит запаздывание регуляторного воздействия в природе, временное освобождение вида от пресса потребителей.

Сложную ситуацию создает своими руками человек, когда борется с вредителями химическими методами. Обычно хищники и паразиты более чувствительны к ядам, чем их жертвы. Поэтому после кратковременного снижения численности вредители, освобожденные от врагов, размножаются с новой силой. Здесь человек нарушает ту отрицательную обратную связь, которая лежала в основе привычного взаимодействия видов.

В *биологическом разнообразии видов* кроется наиболее мощный механизм устойчивости экосистемы (биогеоценоза). Живая природа подчинена принципу разнообразия, поскольку на Земле нет двух совершенно одинаковых не только видов или сообществ, но и особей. На основе изменчивости особей действует естественный отбор, а на основе разнообразия видов складываются сообщества и экосистемы.

Разнообразие видов позволило жизни освоить все «уголки» биосферы, существовать на всех географических широтах, во всех типах климата, в глубинах океанов и толщах грунтов.

Биологический круговорот веществ требует участия видов с прямо противоположными функциями. Очевидно, что и на заре возникновения жизни существовало разнообразие первичных организмов, иначе биологический круговорот не смог бы возникнуть.

Разнообразие видов позволяет им формировать сообщества, занимать все экологические ниши и тем самым наиболее полно использовать ресурсы среды. В биогеоценозах, как мы видели, создается своего рода «разделение труда» между видами, их взаимная дополняемость, и это стабилизирует биогеоценоз.

Кроме *взаимной дополняемости* биологическое разнообразие обеспечивает *взаимную заменяемость* видов в экосистемах. Отдельные виды могут быть заменены их конкурентами без ущерба для общего состояния экосистемы. Выпадение из сообщества каких-либо видов тоже может пройти почти бесследно, если это не касается основных средообразователей. Так как экологические ниши близких по требованиям видов могут частично перекрываться, исчезновение одного из них оказывается неопасным для биогеоценоза. Его функции могут принять на себя сразу несколько видов по правилу конкурентного высвобождения. Но это возможно, если в экосистеме представлено большое разнообразие видов.

Наиболее важные процессы в экосистемах имеют множественное обеспечение, т. е. к сходному результату может привести деятельность разных видов.

Например, в такой важной функции, как разложение мертвого органического вещества, одновременно участвуют многие группы организмов с большим видовым разнообразием: бактерии, грибы, простейшие, круглые и кольчатые черви, членистоногие. Дождевые черви в большинстве типов почв играют важнейшую роль в этих процессах. Но в Канаде на большей части ее территории дождевые черви отсутствуют, и тем не менее там формируются экосистемы, по внешнему облику и характеру круговоротов похожие на европейские.

Биологическое разнообразие видов — необходимое условие и для протекания первичных и восстановительных сукцессий. Одна из причин торможения сукцессионного процесса на обширных нарушенных человеком пространствах — низкое разнообразие видов на прилегающих территориях, отсутствие семян нужных видов растений и сопровождающих их животных — опылителей, разлагателей и т. п. Без видового разнообразия не происходит смены сообществ в направлении к устойчивым экосистемам (биогеоценозам).

Устойчивость природы, таким образом, основана на вполне определенных законах сложения и динамики природных систем, не считаться с которыми люди не имеют права, так как это оборачивается против их собственного благополучия.

1. Назовите главные законы устойчивости экосистем.

2. Объясните, в чем заключается ценность биологического разнообразия видов в биогеоценозе.

3*. Подумайте.

- Почему химические элементы многократно участвуют в биологическом круговороте, а с энергией этого не происходит?

- Использует ли человек в промышленности принцип цикличности, распространенный в природе?

- Каким образом отрицательная обратная связь поддерживает устойчивость экосистемы?

§ 60 Рациональное использование природы и ее охрана

На протяжении многих веков человечество относилось к природе как к практически неиссякаемому источнику достижения благополучия. Вспахать больше земли, срубить больше деревьев, добыть больше угля и руды, построить больше дорог и заводов считалось основным направлением прогрессивного развития и достижения процветания.

Уже в древние времена с началом земледелия и скотоводства деятельность человека приводила к изменению крупных экосистем и опустошению больших территорий.

Так, были сведены леса в Древней Греции и Малой Азии, сильно расширены территории пустынь из-за перевыпаса скота, резко упала численность промысловых копытных животных. Экологические катастрофы, вызванные нарушением природных связей, многократно возникали в разных районах Земли. Пыльные бури, вызванные распашкой больших площадей, поднимали вверх и уносили плодородные слои почвы в США, на Украине, в Казахстане. Из-за сведения лесов мелели судоходные реки. В районах сухого климата неумеренный полив вызывал засоление почв. В степных краях располагались овраги, отнимая у людей плодородные земли. Загрязненные озера и реки превращались в сточные водоемы.

К середине XX столетия стало уже очевидным, что нарушения среды, вызванные *антропогенным воздействием*, имеют не только местное, но планетарное значение. Остро встал вопрос о пределах экологической емкости планеты для существования человечества.

Рост народонаселения и техногенный характер использования природы привели к угрозе экологических нарушений, затрагивающих не только отдельные государства и страны, но и биосферу в целом. Изменяются планетарные циклы круговорота веществ. В результате перед человечеством возник целый ряд глобальных экологических проблем, обусловленных антропогенным воздействием на окружающую среду. Назовем некоторые из них.

Истощение природных ресурсов. Ресурсы, за счет которых живет человечество, делятся на две категории: возобновимые (почва, растительность, животный мир) и невозобновимые (запасы руд и горючих ископаемых). Возобновимые ресурсы способны к восстановлению, но, естественно, если их потребление не превысит критических пределов. Интенсивное потребление привело к заметному уменьшению ресурсов.

Из возобновимых ресурсов сильно пострадали почвы, леса, промысловые животные. Площадь, покрытая лесами, стремительно сокращается на планете, в настоящее время ежегодно на 2%. Людьюми сведено уже 2/3 природных лесов. На наших глазах идет уничтожение уникальных тропических влажных лесов в Южной Америке и Африке. Они могут полностью исчезнуть за 2-3 десятилетия вместе с их богатейшим животным миром. Сибирская тайга при существующем режиме эксплуатации также может быть подорвана за ближайшие 40-50 лет. Резко упали рыбные запасы в реках и океанах. Сократились популяции трески, лососей, осетровых рыб, многих сельдей, китов. Огромные масштабы приобрели потери почв за счет засоления и эрозии — разрушения и выноса плодородного слоя водой и ветром. И то и другое возникает в результате неправильной агротехники. Ежегодно теряются десятки миллионов гектаров ценнейших природных земель.

Загрязнение среды. В результате промышленного производства в атмосферу, воды и почвы в качестве отходов поступает огромное количество вредных веществ, накопление которых угрожает жизни большинства видов, в том числе и человека.

Мощный источник загрязнений — современное сельское хозяйство, насыщающее почвы избыточным количеством удобрений и ядов для борьбы с вредителями.

Снижение биологического разнообразия. По вине человека в настоящее время катастрофически уменьшается видовое разнообразие животных и растений. Часть видов исчезла в результате прямого истребления (*странствующий голубь*, *дикий тур*, морская *стеллерова корова* и др.). Значительно опаснее оказались резкие изменения природной среды, разрушение местообитаний. Из-за этого гибель грозит 2/3 существующих видов. Сейчас темпы антропогенного обеднения природы таковы, что несколько видов животных и растений исчезают ежедневно. В истории Земли процессы вымирания видов уравнивались процессами видообразования.

В настоящее время темпы эволюции оказались несопоставимыми с разрушительным влиянием человека на видовое разнообразие планеты.

Изменения, вызываемые деятельностью человека в биосфере, грозят прежде всего самому человечеству. Живая природа в целом представляет настолько мощную силу, что восстанавливается после самых серьезных катаклизмов на Земле. Но при этом меняются ее формы, меняется состояние экосистем. Виды, которые не могут к этому приспособиться, вымирают. Человечество также приспособлено к определенному состоянию биосферы — составу воздуха, вод, почв, растительности, климатическому режиму, обеспеченности ресурсами. Изменение качества среды приведет человечество к гибели.

Человек, в отличие от других видов, обладает разумом и способен к сознательной перестройке своей деятельности.

В наше время глобальные экологические угрозы начали осознаваться обществом. Экологически грамотное, рациональное природопользование — единственно возможный путь выживания человечества. Обеспечить выживание невозможно без развития экологической науки. Она позволяет понять, какими путями нужно строить взаимоотношения с природой в разных областях человеческой деятельности.

Кроме того, у разных народов за многие века накопился большой опыт неистощительного, бережного отношения к природной среде при использовании ее богатств. Этот опыт был по большей части забыт и отброшен наступлением НТР, но теперь вновь привлекает к себе внимание. Надежду вселяет то, что современное человечество вооружено научными знаниями. Основная сложность заключается в том, что для предотвращения глобальных экологических катастроф и обеспечения рационального использования природы необходима согласованная деятельность множества человеческих коллективов, всех государств мира и отдельных людей. Требуется перестройка сознания каждого человека, отказ от старых форм эксплуатации природы, постоянная забота о ней, переход на новые технологии промышленности и сельского хозяйства. Все это невозможно без вложения больших средств, всеобщей экологической грамотности и овладения глубокими знаниями в каждой области взаимодействия с природной средой.

Всёобщее экологическое образование становится одним из главных требований времени.

Поэтому и настоящим, и будущим поколениям предстоит напряженная сознательная борьба за согласованную деятельность людей по сохранению биосферы, за перестройку промышленности и сельского хозяйства на экологических основах, за внедрение нового законодательства, новых норм морали, формирование экологической культуры во имя дальнейшего развития и процветания человечества на Земле.

1. Какие формы деятельности человека нарушают основные законы устойчивости природы?

2*. Что нужно делать, чтобы сохранить плодородие почв?

3. Как должен вести себя в природе каждый человек для поддержания устойчивости экосистемы?

Лабораторная работа № 7 (см. Приложение, с. 234).

Краткое содержание главы

Условия жизни на нашей планете разнообразны. Они характеризуются различными физико-химическими (т. е. абиотическими) и биотическими факторами. На Земле выделяют четыре качественно различающиеся среды жизни. Все они населены живыми существами, имеющими определенную приспособленность к обитанию в своих средах. Экологические факторы среды управляют жизнедеятельностью организмов.

Организмы в своем существовании зависят друг от друга, особенно это касается питания, размножения и размещения в биотопах. Виды обычно входят в биоценозы в форме популяций. Единство биоценоза с биотопом образует природную систему, которую называют биогеоценозом или экосистемой. Характерное свойство экологической системы — биологический круговорот веществ и потоки энергии. Совокупность водных и наземных экосистем (биогеоценозов) представляет собой биосферу — глобальную, общеземную экосистему. Ее устойчивость во многом зависит от рациональной природопользовательской деятельности человека, его экологической культуры, сознания своей ответственности за дальнейшее развитие жизни на Земле и процветание человечества.

Проверьте себя

1. Какова роль живого вещества в эволюции биосферы?
2. По каким законам происходит саморазвитие биогеоценозов?
3. Какую роль играет круговорот веществ в биогеоценозе?
4. Почему и биогеоценоз, и биосферу называют экосистемой?
5. Назовите основные группы экологических факторов.
6. Охарактеризуйте различия между понятиями «популяция», «численность», «плотность популяции».
7. Почему происходит смена биогеоценозов?

Проблемы для обсуждения

1. Какими должны быть действия человека, чтобы повысить продуктивность природных и искусственных экосистем?
2. Объясните, что такое экологически чистое производство, экологически чистая продукция.
3. Что бы вы предложили сделать для уменьшения загрязнения атмосферы?

Основные понятия

Среды жизни. Экологические факторы. Биоценоз. Биогеоценоз. Биосфера. Экосистема. Биологический круговорот веществ. Пищевая цепь. Численность. Плотность. Смена биогеоценозов. Экология.

Заключение

Итак, вы закончили изучение курса «Основы общей биологии». Вы убедились, что курс охватывает широкий круг вопросов из разных областей не только биологии, но и смежных с ней наук — географии, физики, химии. Это говорит о том, что жизнь как природное явление очень сложна и требует многостороннего раскрытия ее свойств.

Возникновение жизни на Земле, развитие огромного разнообразия видов, исчезновение ряда крупных групп живых существ в истории планеты — эти и другие события не до конца еще выяснены в науке биологии. Требуют неотложного решения и проблемы, обусловленные экологическим неблагополучием окружающей среды: вызванное человеком резкое сокращение биологических ресурсов, стремительное снижение биологического разнообразия, разрушение местообитаний многих видов и др.

В решении этих проблем должны принять участие и вы. А для этого нужно хорошо знать законы жизни природы, ее возможности и тенденции.

XX в. для биологии как науки был чрезвычайно плодотворным. Раскрыты многие сущностные законы жизни. Выявлены основные механизмы процесса эволюции, передачи наследственности и воспроизводства, фотосинтеза и дыхания, существования биосферы. Сделаны уникальные открытия в строении и свойствах клетки, определены структура и свойства нуклеиновых кислот, раскрыты молекулярные основы жизни, доказано происхождение человека от животных и установлены этапы антропогенеза. Созданы фундаментальные теории: о центрах происхождения культурных видов, происхождении жизни на Земле, о биогеоценозах, экосистемах и биосистемах, структурных уровнях организации живой материи, их функционировании, структуре и развитии и о многих других феноменах жизни.

Именно в XX в. биология перешла из разряда натурфилософских областей знания в число фундаментальных наук, заняв лидирующее место, формируя ценностное представление о природе и роли в ней человека, о законах существования живого мира, о зависимостях и развитии живой природы во взаимодействии с обществом, человеком и окружающей средой.

Понимание законов природы, новейших теорий биологии позволяет не только правильно выстроить научную картину мира, но и использовать биологические знания для практических целей.

Этот огромный фундаментальный материал в области теоретических и практических знаний по биологии авторы стремились доступно, но научно достоверно изложить в учебнике.

Биология как наука и как учебный предмет изучает жизнь, ее взаимосвязи и свойства. Осознание человеком этих процессов — условие дальнейшего существования жизни на нашей планете, построения общества в гармонии с природой и устойчивого развития человечества. Незнание законов биологии приводит к печальным последствиям и для природы, и для самого человека. История природопользования уже ярко доказала, что безопасность жизнедеятельности

природы и человека непосредственно определяется грамотностью людей в области биологии.

От поступков каждого из нас в природе — в часы отдыха или в процессе работы — зависят сохранность и разнообразие окружающего нас живого мира, необходимого и ныне живущим, и будущим поколениям.

Лабораторные работы

Лабораторная работа № 1 (к § 8 учебника)

Многообразие клеток. Сравнение растительной и животной клеток

Цель работы: сравнить особенности клеток растений и животных.

Оборудование: микроскоп; готовые микропрепараты растительных и животных тканей (внутреннее строение листа, мышечная ткань); клетки спирогиры, эвглены зеленой; нервная клетка; клетка гладкой мускулатуры.

Ход работы:

1. Приведите в рабочее состояние микроскоп.
2. Рассмотрите препараты внутреннего строения листа при малом и большом увеличении. Определите типы растительных тканей на поперечном срезе листа. Рассмотрите отдельные клетки различных тканей.
3. Сравните клетки столбчатой, губчатой и покровной тканей. Выявите особенности клеток этих тканей в связи с их функциями у растения.
4. Рассмотрите препараты с клетками животных тканей (нервной и гладкой мышечной). Укажите особенности строения клеток в связи с их функциями в организме животного.
5. Результаты наблюдений и выводы запишите в таблице по образцу:

Клетка ткани	Особенности строения	Выполняемые функции	Рисунок клетки
Столбчатой			
Губчатой			
Покровной			
Нервной			
Мышечной			

Лабораторная работа № 2 (к § 14 учебника)

Рассмотрение микропрепаратов с делящимися клетками растения

Цель работы: изучение делящихся клеток.

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

Ход работы:

1. Рассмотрите микропрепарат сначала при малом увеличении, затем при большом увеличении.
2. Найдите на микропрепарате делящиеся клетки. Определите, какие фазы деления клеток зафиксированы на препарате.

3. Сосчитайте количество делящихся клеток, которые находятся в поле зрения (не сдвигая микропрепарат под микроскопом).

4. Сосчитайте количество неделящихся клеток, находящихся в поле зрения под микроскопом.

5. Зарисуйте делящиеся клетки в таблице по образцу:

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

Лабораторная работа № 3 (к § 20 учебника)

Решение генетических задач

Цель работы: развитие умений пользоваться решеткой Пеннета, определять гаметы и генотипы потомства.

Оборудование: карточки с заданиями для учащихся, сборники задач для школьников по генетике.

Ход работы:

1. Решение задач по моногибридному скрещиванию.
2. Решение задач по дигибридному скрещиванию.
3. Сравнение генотипов родителей и их потомства в первом и втором поколениях.

Лабораторная работа № 4 (к § 25 учебника)

Выявление генотипических и фенотипических проявлений у растений разных видов (или сортов), произрастающих в неодинаковых условиях

Цель работы: изучение наследственных признаков на примере растений.

Оборудование: 1) ручная лупа, семена гороха разных сортов (или фасоли, тыквы), семена различных растений (например, яблони, вишни, дуба, клена, березы); 2) комнатное растение колеус (или бегония, плющ, пеларгония).

Ход работы:

Задание 1

1. Изучите внешний вид семян разных сортов гороха (фасоли). Определите общие признаки семян: окраска, форма кожуры и рубчика.
2. Распределите семена по сортам.
3. Найдите общие видовые признаки семян гороха (фасоли) и их сортовые отличия.
4. Сделайте записи в таблице по образцу:

Общие признаки	Отличительные признаки
----------------	------------------------

1.	
2.	

Задание 2

1. Сравните растение колеус, выращиваемое при ярком освещении (на подоконнике), с колеусом, произрастающим в затененном месте (далеко от окна).

2. Определите генотипические признаки растения (форма листовой пластинки, тип жилкования, тип листорасположения, строение цветка, тип соцветия) и фенотипические.

3. Сравните у тех и других растений их фенотипические признаки (количество листьев на побеге, окраска листьев, размеры листовой пластинки, длина междоузлий, наличие и размеры соцветий, фототаксис, листовая мозаика).

4. Сделайте записи в таблице по образцу:

Генотипические признаки	Фенотипические признаки	
	на свету	в затенении
1.		
2.		

Лабораторная работа № 5 (к § 43 учебника)

Изучение изменчивости у организмов

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

Оборудование: 1) 15-20 опавших листьев клена платанолистного (или тополя, осины, дуба, яблони и др.); 2) 5-7 раковин прудовика большого (или морского двусторчатого моллюска); линейка; лист миллиметровой бумаги или «в клеточку».

Ход работы:

Задание 1

Обнаружение изменчивости у растений и животных

1. Сравните 5 опавших листьев клена (или листьев других растений). Найдите у них черты сходства и различия в окраске листа, форме и размерах (длина и ширина листовой пластинки, количество зубчиков по краю листа). Сделайте соответствующие измерения листовой пластинки. Расположите листья в порядке изменения признака.

2. Определите неизменяемые признаки и признаки, свидетельствующие о явлении изменчивости у клена.

3. Сравните раковины прудовика (или другого моллюска). Найдите у них черты сходства и различия в форме и размерах, в окраске раковин. Расположите раковины в порядке изменения признака.

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

5. Наблюдения и выводы запишите в таблице по образцу:

Изучаемые объекты	Неизменяемые признаки	Изменяемые признаки
Листья клена		
Раковины прудовика		

6. Сделайте общий вывод по выполненной работе.

Задание 2

Выявление статистических закономерностей модификационной изменчивости

1. Измерьте длину листовой пластинки у 15-20 листьев клена. Расположите их в один ряд в порядке возрастания длины листовой пластинки.
2. Используя полученные измерения, определите частоту встречаемости листьев с короткой, длинной и средней по длине листовой пластинкой. Для этого разделите листья на три группы по длине их листовой пластинки. Сосчитайте, сколько листьев находится в каждой группе.
3. На основе полученных данных постройте на миллиметровой или клетчатой бумаге вариационную кривую изменчивости длины листовой пластинки. Для этого на оси абсцисс отложите значения длины листовых пластинок каждого листа, а на оси ординат — значения, отражающие частоту встречаемости исследуемого признака (число листьев в каждой группе). Соединив точки пересечения оси абсцисс и ординат у каждого листа, получите вариационную кривую.
4. Выполните такую же работу по материалам измерений ширины листовой пластинки листа.
5. Сформулируйте выявленную вами статистическую закономерность модификационной изменчивости.

Лабораторная работа № 6 (к § 52 учебника)

Приспособленность организмов к среде обитания

- Цель работы:** доказать, что приспособленность — общее свойство организмов.
- Оборудование:** коллекция плодов и семян (клена, ели, череды); коллекция под стеклом конечностей насекомых (жука-плавунца, жука-навозника, пчелы, бабочки, кузнечика); фотографии или рисунки животных (орел, цапля, синица, щегол); живые комнатные растения (цереус, монстера, сансевиера, пеларгония); ручная лупа.
- Ход работы:**

Задание 1

1. Рассмотрите плоды и семена разных растений. Определите способы распространения семян этих растений.
2. Определите, какие приспособительные особенности обеспечивают распространение семян с помощью ветра (анемохорию) и распространение семян с помощью животных (зоохорию).
3. Свои наблюдения и выводы запишите в таблице по образцу:

Растение	Приспособительные признаки у семян и плодов
----------	---

1.	
2.	

4. Укажите правильный ответ на вопрос:

В чем проявляется относительный характер приспособленности?

- а) Растение рассыпает семена зимой.
- б) Семена попадают в неблагоприятные условия (в воду, на асфальтовое покрытие и т. д.).
- в) Семена поедают животные.

Задание 2

1. Выполните такую же работу на примере коллекции конечностей насекомых. С помощью лупы рассмотрите строение конечностей насекомых. Найдите у них черты сходства и различия.

2. Определите приспособительные особенности конечностей в связи с их функциями, выполняемыми у данных насекомых.

3. Свои наблюдения и выводы запишите в таблице по образцу в задании 1.

Задание 3

Пользуясь фотографиями или рисунками животных (орел, цапля, синица, щегол), определите черты приспособленности к способу добычи пищи в строении клюва у птиц. Наблюдения и выводы запишите в таблице.

Задание 4

На примере комнатных растений, имеющих в кабинете биологии, определите черты приспособленности к условиям влажности, выработавшиеся у растений в процессе эволюции. Определите соответствующие морфофизиологические приспособительные свойства у данных растений. Наблюдения и выводы запишите в таблице.

Примечание: по выбору учителя в данной лабораторной работе ученики могут выполнить одно или несколько (любые) заданий.

Лабораторная работа № 7 {к § 60 учебника)

Оценка качества окружающей среды

Цель работы: ознакомиться с наиболее доступными методами оценки загрязнения окружающей среды.

Оборудование: лист белой бумаги, прозрачная клеящая пленка (скотч).

Ход работы:

1. В помещении класса (кабинете биологии) произведите сбор проб на высоте 0,5-1,5 м от уровня пола с разных поверхностей (рабочих столов, шкафов, подоконников, оконных стекол, стен, листьев растений), находящихся в классе. К выступающей поверхности разных объектов приложите прозрачную клеящую пленку. Затем снимите пленку с отпечатавшейся на ней пылью и клейкой стороной прикрепите пленку к листу белой бумаги.

2. На площади в 1 см^2 каждой полученной пробы сосчитайте количество пылин. Сравните запыленность разных поверхностей в классе.
3. Выполните такую же работу в коридоре и столовой.
4. Выполните такую же работу на территории около школы. Возьмите пробы с поверхности стен школы, оконных стекол, стволов деревьев и листьев кустарников.
5. Результаты наблюдений и уровень запыленности воздуха запишите в таблице по образцу:

Место взятия пробы	Уровень запыленности
Класс	
Коридор	
Столовая	
Территория около школы	

Примечание: уровень запыленности можно выражать в баллах: О — отсутствие пыли; I — слабая запыленность; II — средняя; III — сильная; IV — очень сильная запыленность.

Оглавление

Глава 1. Введение в основы общей биологии

- § 1. Биология — наука о живом мире
- § 2. Общие свойства живых организмов
- § 3. Многообразие форм живых организмов

Глава 2. Основы учения о клетке

- § 4. Цитология — наука, изучающая клетку. Многообразие клеток
- § 5. Химический состав клетки
- § 6. Белки и нуклеиновые кислоты
- § 7. Строение клетки
- § 8. Органоиды клетки и их функции
- § 9. Обмен веществ — основа существования клетки
- § 10. Биосинтез белков в живой клетке
- § 11. Биосинтез углеводов — фотосинтез
- § 12. Обеспечение клеток энергией

Глава 3. Размножение и индивидуальное развитие организмов (онтогенез)

- § 13. Типы размножения
- § 14. Деление клетки. Митоз
- § 15. Образование половых клеток. Мейоз
- § 16. Индивидуальное развитие организмов — онтогенез

Глава 4. Основы учения о наследственности и изменчивости

- § 17. Из истории развития генетики
- § 18. Основные понятия генетики
- § 19. Генетические опыты Менделя
- § 20. Дигибридное скрещивание. Третий закон Менделя
- § 21. Сцепленное наследование генов и кроссинговер
- § 22. Взаимодействие генов и их множественное действие
- § 23. Определение пола и наследование признаков, сцепленных с полом
- § 24. Наследственная изменчивость
- § 25. Другие типы изменчивости
- § 26. Наследственные болезни, сцепленные с полом

Глава 5. Основы селекции растений, животных и микроорганизмов

- § 27. Генетические основы селекции организмов
- § 28. Особенности селекции растений
- § 29. Центры многообразия и происхождения культурных растений
- § 30. Особенности селекции животных
- § 31. Основные направления селекции микроорганизмов

Глава 6. Происхождение жизни и развитие органического мира

- § 32. Представления о возникновении жизни на Земле

в истории естествознания

§ 33. Современные представления о возникновении жизни на Земле

§ 34. Значение фотосинтеза и биологического круговорота

веществ в развитии жизни

§ 35. Этапы развития жизни на Земле

Глава 7. Учение об эволюции

§ 36. Идея развития органического мира в биологии

§ 37. Основные положения теории Чарлза Дарвина об эволюции органического мира

§ 38. Современные представления об эволюции органического мира

§ 39. Вид, его критерии и структура

§ 40. Процессы видообразования

§ 41. Макроэволюция — результат микроэволюций

§ 42. Основные направления эволюции

§ 43. Основные закономерности биологической эволюции

Глава 8. Происхождение человека (антропогенез)

§ 44. Эволюция приматов

§ 45. Доказательства эволюционного происхождения человека

§ 46. Этапы эволюции человека

§ 47. Первые и современные люди

§ 48. Человеческие расы, их родство и происхождение

§ 49. Человек как житель биосферы и его влияние на природу Земли

Глава 9. Основы экологии

§ 50. Условия жизни на Земле. Среды жизни и экологические факторы

§ 51. Общие законы действия факторов среды на организмы

§ 52. Приспособленность организмов к действиям факторов среды

§ 53. Биотические связи в природе

§ 54. Популяции

§ 55. Функционирование популяции и динамика ее численности

§ 56. Сообщества

§ 57. Биогеоценозы, экосистемы и биосфера

§ 58. Развитие и смена биогеоценозов

§ 59. Основные законы устойчивости живой природы

§ 60. Рациональное использование природы и ее охрана

Заключение

Лабораторные работы

Как работать с учебником

Выходные данные

Как работать с учебником

Темы для изучения на уроках вы найдете в оглавлении, где даны названия глав (разделов) и параграфов. Изучение материала начинайте с просмотра терминов и выводов, представленных в конце параграфа и главы. Это поможет вам целенаправленно работать с текстом, выделяя в нем главное. После этого приступайте к чтению текста параграфа, внимательно рассматривая рисунки и схемы. Одновременно развивайте у себя умения использовать ваши знания по биологии, приобретенные в 6-8 классах, для пояснения и иллюстрации нового учебного материала из курса биологии 9 класса.

Термины, которые надо запомнить, даны *полужирным курсивом*. Восклицательным знаком (!) обозначены важные положения и выводы. Термины и понятия, на которых следует остановить свое внимание при изучении материала, выделены *светлым курсивом*. Часть текста дана шрифтом, отличным от основного. Этот материал предназначен для тех, кто хочет больше узнать о живой природе. Каждая глава завершается перечнем вопросов и проблем для обсуждения. С их помощью вы проверите, как усвоен изученный материал. Здесь же представлен список основных понятий, необходимых для запоминания.

Учебник соответствует программе курса биологии, разработанной авторским коллективом под руководством проф. И.Н. Пономаревой. По этой программе изучение курса завершается в 9 классе основами общей биологии. Учебник включает сведения, предусмотренные стандартом биологического образования. Методический аппарат учебника способствует усвоению теоретического материала и обеспечивает дифференцированное обучение.

© Коллектив авторов, 2001

© Издательский центр «Вентана-Граф», 2001

© Коллектив авторов, переработка, 2005

© Издательский центр «Вентана-Граф», переработка, 2005

Выходные данные

Учебное издание

Ирина Николаевна Пономарева

Ольга Анатольевна Корнилова

Нина Михайловна Чернова

Основы общей биологии

Учебник для учащихся 9 класса общеобразовательных учреждений

Издание третье, переработанное

Редакторы И.Н. Баженова, Н.Ю. Никонюк

Внешнее оформление А.В. Травниковой

Художники А.В. Травникова, Е.В. Горячкина, Л.Я. Александрова, Н.А. Торопицына, А.В. Юдин

Художественный редактор Е.В. Чайко

Компьютерная верстка И.О. Кабардина

Технические редакторы М.В. Плешакова, Ю.В. Киселева

Корректор Е.В. Плеханова

ББК 28.0я72 П41

Главы 1-8 написаны И.Н. Пономаревой, О.А. Корниловой, глава 9 — Н.М. Черновой, И.Н. Пономаревой

Основы общей биологии: Учебник для учащихся 9 класса общеобразовательных учреждений / Под ред. проф. И.Н. Пономаревой. — 3-е изд., перераб. — М.: Вентана-Граф, 2006. - 240 е.: ил. ISBN 5-88717-848-5

Гигиенический сертификат № 77.99.02.953.Д.008481.12.05 от 13.12.2005 г. сроком до 13.12.2006 г.

Подписано в печать 24.12.04. Формат 70х90 1/6. Гарнитура Baskerville. Печать офсетная. Бумага офсетная №1. Пен. л. 15,0. Тираж 22000 экз. Заказ № 7070

ООО Издательский центр «Вентана-Граф» 127422, Москва, ул. Тимирязевская, д. 1, корп. 3. Тел./факс: (095) 611-15-74, 611-21-56 E-mail: info@vgf.ru, <http://www.vgf.ru>

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО «Московские учебники и Картолитография» 125252, г. Москва, ул. Зорге, д. 15.